RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

AU MOUVEMENT DE L'EAU

DANS LES TUYAUX.

Par Henry DARCY,



RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

RELATIVES

AU MOUVEMENT DE L'EAU

DANS LES TUYAUX.

PARIS. — IMPRIMERIE DE MALLET-BACHELIER,
rue du Jardinet, 12.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

RELATIVES

AU MOUVEMENT DE L'EAU

DANS LES TUYAUX,

PAR HENRY DARCY,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

PARIS,

MALLET-BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

Quai des Augustins, 55.

1857.

AVANT-PROPOS.

L'exécution des travaux relatifs à la fourniture d'eau de Dijon m'a donné lieu de reconnaître la nécessité de me livrer aux *Recherches* que je publie aujourd'hui.

J'avais remarqué de grands désaccords entre les formules qui ont pour objet de calculer les vitesses moyennes de l'eau dans les tuyaux de conduite et les résultats de la pratique; je cherchais à déterminer les causes de ces différences lorsqu'une occasion favorable me permit de faire des expériences sur une très-grande échelle.

Je fus appelé à diriger le service municipal de Paris; la distribution des eaux de cette ville faisait partie de mes attributions : les plus grandes facilités m'étaient donc offertes pour étudier dans tous leurs détails les questions que je m'étais posées.

J'ai cherché à mettre à profit cette situation. Mes travaux se prolongèrent plus longtemps que je ne l'avais supposé d'abord; mais lorsque je fus promu à d'autres fonctions, mon successeur, M. Dupuit, connu des Ingénieurs par d'importants travaux sur l'hydraulique, voulut bien, avec une

obligeance extrême, aller au-devant de mes désirs en m'accordant tous les moyens de continuer mes expériences.

Il me fut donc possible de les compléter ; mais les résultats qu'elles présentèrent contredisaient sous certains rapports les idées reçues, et je crus nécessaire, avant de les faire connaître, de soumettre au jugement de l'Académie des Sciences mes *Recherches expérimentales sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux*.

Une Commission, composée de M. le Général Poncelet, de M. Combes, Inspecteur général des Mines, et de M. le Général Morin, fut chargée de faire un Rapport sur mon Mémoire.

J'ai cru devoir reproduire ce Rapport en tête de mon travail : mes *Recherches* trouveront un patronage et un appui dans le bienveillant témoignage de la Commission.

INSTITUT DE FRANCE.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome XXXVIII, séance du 26 juin 1854.

RAPPORT

Sur un Mémoire présenté par M. H. DARCY, Inspecteur divisionnaire des Ponts et Chaussées, *sur des Recherches expérimentales relatives au Mouvement des Eaux dans les tuyaux.*

Commissaires, MM. PONCELET, COMBES, MORIN rapporteur.

L'Académie a chargé MM. Poncelet, Combes et moi d'examiner l'important travail de M. Darcy sur les lois du mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite. Cet habile Ingénieur s'est proposé d'étendre les données expérimentales que la science possède sur cette question, en profitant des facilités que lui donnaient les fonctions de directeur du service municipal de la ville de Paris.

Tous ceux qui s'occupent d'hydraulique regrettaient depuis longtemps que les Ingénieurs des Ponts et Chaussées, qui ont dans leurs attributions les travaux de distribution d'eau, si vastes et si variés, de la ville de Paris, n'eussent pas cherché à compléter les données, trop peu nombreuses, de l'expérience, et à vérifier l'exactitude des règles que l'illustre M. de Prony avait déduites de celles que l'on connaissait de son temps. Nous n'ignorons pas que les nécessités et les sujétions d'un service aussi compliqué ont pu être des obstacles sérieux à de semblables recherches, et nous devons nous féliciter que M. Darcy ait pu les surmonter.

Nous suivrons dans ce Rapport la marche que l'auteur a adoptée pour son travail, qui est divisé en six chapitres.

Le premier est consacré à un examen critique des travaux antérieurs, dans lequel l'auteur indique l'insuffisance des données expérimentales dont les Ingénieurs qui l'ont précédé avaient pu disposer.

On sait, en effet, que Couplet, Membre de l'Académie, qui, le premier, s'occupa de ces recherches, dont l'utilité était déjà reconnue de son temps, ne fit que sept expériences sur les conduites d'eau de Versailles, établies depuis longues années, et, par conséquent, parvenues, par l'action des dépôts qu'elles pouvaient avoir reçus, à l'état d'anciennes conduites en service. Bossut n'exécuta que vingt-six expériences sur des tuyaux neufs en fer-blanc de petits diamètres, de 1 à 2 pouces, et Dubuat dix-huit sur des tuyaux aussi en fer-blanc, de $0^m,0271$ de diamètre. C'est donc sur cinquante et une expériences seulement que l'illustre M. de Prony put, par une habile discussion, établir les formules qui ont jusqu'ici servi de règles aux Ingénieurs pour l'établissement des grandes conduites de distribution d'eau dans les villes.

Ces règles supposent, comme on le sait, que l'état des surfaces intérieures des conduites n'exerce pas d'influence sensible sur la résistance des parois, et elles sont basées sur une expression de cette résistance, qui contient un facteur composé de deux termes proportionnels, l'un à la première, l'autre à la seconde puissance de la vitesse moyenne de l'eau dans le tuyau.

Or, depuis longtemps les Ingénieurs qui ont établi de grandes conduites d'eau avaient reconnu que, si les volumes d'eau réellement débités par les conduites neuves en fonte excédaient habituellement les volumes indiqués par ces formules, peu après leur mise en service, il en était tout autrement quand elles avaient fonctionné pendant quelque temps, et qu'il avait pu s'y former des dépôts, même assez légers.

M. d'Aubuisson, habile Ingénieur des Mines, auquel la ville de

Toulouse doit ses établissements hydrauliques, et la science, d'importantes recherches sur cette matière, avait constaté, par l'observation et par des expériences faites sur des conduites de grandes dimensions, en service depuis plusieurs années, que les pertes de charges occasionnées par le frottement de l'eau dans ces conduites étaient parfois plus que doubles de celles qu'indiquaient les formules de M. de Prony, et il avait été amené à employer, pour le calcul des produits des conduites où la vitesse atteint et dépasse $0^m,60$, une formule qui supposait la résistance proportionnelle au simple carré de la vitesse, et qui donne des résultats plus faibles d'un tiers environ que ceux des formules de M. de Prony.

M. Darcy fait remarquer qu'en réunissant les résultats des expériences faites par Bossut et Dubuat sur de petits tuyaux de fer-blanc neufs, à ceux que Couplet a obtenus sur des conduites de fonte, de grand diamètre, déjà anciennes, M. de Prony a pu être induit en erreur sur l'influence de l'état des surfaces sur la résistance, par l'effet d'une compensation fortuite qui se sera faite entre la diminution de résistance que pouvait produire l'accroissement du diamètre et l'augmentation due à la présence des dépôts.

Pour lever ces doutes, l'auteur a pensé qu'il était nécessaire de rechercher quelles étaient :

1°. L'influence de l'état des surfaces sur le débit ;

2°. L'influence du diamètre des conduites sur la résistance.

A cet effet, il a expérimenté sur des diamètres très-variés, depuis les plus petits que l'on emploie jusqu'à ceux de $0^m,50$, sur des tuyaux en fer étiré et en plomb, en fer bitumé neufs et en verre neufs sans dépôts ; ainsi que sur des tuyaux en fonte, les uns neufs, les autres altérés par des dépôts et ensuite nettoyés.

Dans le chapitre II, M. Darcy donne la description détaillée des appareils qu'il a employés pour l'exécution de ses expériences, ainsi que l'indication de toutes les précautions qu'il a prises pour éviter les causes d'erreur qui auraient pu provenir des changements dans les volumes débités, de la présence de l'air dans les conduites, etc.

Nous ne le suivrons pas dans cette description, qui exige la vue des beaux et nombreux dessins que l'auteur a joints à son Mémoire. Nous dirons seulement qu'en expérimentant sur des conduites d'un diamètre uniforme de 100 mètres et plus de longueur, il a observé avec des piézomètres, disposés avec le plus grand soin, les pressions exercées :

1°. Sur les parois de ses réservoirs d'alimentation, dont le niveau était parfaitement réglé;

2°. Un peu en amont de l'entrée de l'eau dans la conduite;

3°. En aval de cette entrée, à une distance où le régime et le mouvement permanent du liquide devaient être bien établis;

4°. A 50 mètres et à 100 mètres en aval du dernier point.

De la sorte, les trois derniers piézomètres lui donnaient la pression éprouvée par la paroi ou la hauteur de charge à laquelle l'eau aurait été soutenue pendant le mouvement, d'abord à l'origine de la longueur des tuyaux en expérience, puis à 50 et à 100 mètres plus loin. Les différences de ces charges lui donnaient donc la mesure de l'effet produit ou de la perte de charge occasionnée par la résistance des parois.

Quant au produit des conduites, il était recueilli dans des bassins de jauge dont la capacité était parfaitement connue.

Pour les conduites en plomb qui n'avaient que 50 mètres de longueur, ce qui correspondait à plus de douze cents fois le diamètre des plus gros tuyaux que M. Darcy ait employés, les piézomètres étaient placés l'un à 25 mètres de l'autre.

Enfin, les conduites en verre avaient $44^m,80$ de longueur, ce qui correspondait à peu près à mille fois leur diamètre.

Les vitesses moyennes obtenues dans ces expériences ont varié depuis $0^m,03$ jusqu'à 5 ou 6 mètres par seconde, ce qui dépasse les limites en usage dans la pratique.

Les pentes ont été réglées avec le plus grand soin dans la pose des conduites.

Le mesurage du diamètre des tuyaux a été fait avec toutes les pré-

cautions nécessaires pour le remplissage, excepté pour les tuyaux de plomb qui, obtenus par l'étirage, étaient parfaitement calibrés, et des grands tuyaux de fonte de forts diamètres, pour lesquels on a procédé par mesure directe.

Après avoir décrit les appareils qu'il a employés et les dispositions adoptées pour assurer la précision des observations, M. Darcy rapporte dans vingt-deux tableaux tous les résultats des cent quatre-vingt-dix-huit expériences qu'il a exécutées pour déterminer :

1°. Les relations existant entre les pentes, les vitesses moyennes et les diamètres des conduites ;

2°. Les pertes de charge nécessaires à la production des vitesses moyennes lors de l'introduction de l'eau dans les tuyaux.

A l'aide des résultats contenus dans ces tableaux, l'auteur montre que, contrairement à l'opinion admise jusqu'à ce jour, la nature et l'état des surfaces exercent une influence notable sur les produits des conduites.

On voit, en effet, que les conduites en fer enduites de bitume donnent des produits plus considérables que ceux que l'on déduisait des formules de M. de Prony, dans le rapport de 4 à 3 environ ; que le verre offre des résultats analogues ; mais qu'à l'inverse, dans des conduites en fonte dont des dépôts, même légers, n'avaient diminué le diamètre que d'une faible quantité, la vitesse et, par par suite, la dépense se sont trouvées notablement inférieures à ce qu'indiquaient les formules de M. de Prony, tandis qu'après le nettoyage il y avait accord entre ces formules et l'expérience.

Quant au diamètre, l'auteur constate aussi, par des expériences, que les formules de M. de Prony ne lui assignent pas une influence assez grande, et il montre que, pour les petits diamètres, les résultats de l'expérience sont inférieurs à ceux des formules, tandis que, pour les grands diamètres, ils leur sont supérieurs.

Enfin, les conduites en plomb des diamètres de 14, 27 et 41 millimètres ont fourni des résultats d'accord avec les formules de M. de Prony.

M. Darcy pense que, si cette influence des diamètres avait paru à M. de Prony moins considérable qu'elle ne l'est réellement, il faut l'attribuer à une sorte de compensation fortuite qui sera établie entre la résistance des tuyaux de petits diamètres, mais bien polis, et celle des tuyaux de grands diamètres, mais souillés par des dépôts : c'est, d'ailleurs, ce qu'il justifie par le calcul direct des expériences.

L'auteur fait remarquer, en outre, que, pour les petites vitesses inférieures à $0^m,10$ par seconde, le terme relatif au carré de la vitesse dans les formules de résistance paraît avoir si peu d'influence, que cette résistance devient sensiblement proportionnelle à la simple vitesse.

En classant ensuite les résultats de ses expériences par nature de conduite et par diamètre de tuyau, M. Darcy cherche à reconnaître si les formules ordinaires se vérifient pour chaque tuyau en particulier.

Au moyen de la représentation graphique des résultats, il constate que la formule ordinaire

$$RI = av + bv^2$$

exprime pour chaque tuyau la loi de la résistance, excepté pour les tuyaux de très-petits diamètres, et pour les faibles vitesses, auxquelles, comme nous venons de le dire, la résistance est sensiblement proportionnelle à la simple vitesse.

Mais, en passant d'un diamètre à un autre pour une même nature de tuyaux, ou d'une espèce de tuyau à une autre, les expériences de M. Darcy montrent que les valeurs des coefficients a et b des deux puissances de la vitesse ne restent pas les mêmes, et qu'elles varient avec les surfaces lorsque ces dernières offrent des degrés de poli inégaux, et avec les rayons lorsque les surfaces sont au contraire à peu près identiques.

Enfin, pour des tuyaux recouverts de dépôts, comme cela arrive aux conduites qui servent depuis un certain temps, les expériences de l'auteur font voir que la résistance pourrait (comme l'avait pro-

posé M. Girard et comme M. d'Aubuisson l'avait admis) être considérée comme simplement proportionnelle au carré de la vitesse, ce qui en simplifierait l'expression et le calcul dans les applications.

Dans les expériences de M. Darcy, les pressions ont été assez différentes entre elles, et assez élevées pour qu'il lui fût possible de bien vérifier le principe admis par Dubuat et par les hydrauliciens qui lui ont succédé, que la résistance opposée par les parois des tuyaux au mouvement des liquides est indépendante de la pression qui leur fait supporter le liquide en mouvement.

C'est ce qui résulte clairement de ses douzième et treizième expériences, où les charges ont varié dans les rapports de 17 à 26 mètres et de 22 à 40 mètres entre les deux parties de tuyaux soumises aux observations, tandis que les différences ou pertes de charges sont restées les mêmes pour les deux parties.

La même conséquence résulte aussi d'une autre expérience directe, dans laquelle l'auteur a fait varier les charges dans le rapport de 18 à 41 mètres.

On peut donc regarder comme complétement confirmé par l'expérience le principe précédent, qui est fort important pour la théorie du mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

Dans le chapitre IV de son Mémoire, M. Darcy recherche, pour chaque tuyau dans un état donné, quelles sont les valeurs qu'il convient d'attribuer aux coefficients des formules

$$\mathrm{RI} = av + bv^2,$$

ou

$$\mathrm{RI} = b_1 v^2,$$

selon que l'on suppose la résistance exprimée par une fonction des deux premières puissances de la vitesse moyenne du liquide, ou simplement proportionnelle au carré de cette vitesse.

Pour déterminer les valeurs des coefficients constants, qu'il convient d'adopter pour que ces formules représentent le mieux possible

les résultats de l'expérience, l'auteur a employé la méthode des moindres carrés, en s'imposant, non pas la condition que la somme des carrés des erreurs fût la plus petite possible, mais celle que la somme des carrés des erreurs proportionnelles entre les vitesses calculées et les vitesses observées fût un minimum. On conçoit, en effet, que pour représenter les résultats de recherches où les vitesses ont varié depuis quelques centimètres jusqu'à plusieurs mètres en une seconde, des erreurs absolues égales ont une influence beaucoup plus grande pour les petites vitesses que pour les grandes. Toutefois l'auteur a cru devoir calculer aussi les mêmes coefficients par la condition de réduire la somme des carrés des erreurs absolues à un minimum.

La méthode des moindres carrés suivie par l'auteur pour discuter les résultats de ses expériences, ne nous paraît pas être la plus sûre qu'il convienne d'appliquer dans le cas actuel, malgré l'autorité de M. de Prony, qui avait annoncé l'intention de l'appliquer à la suite des recherches qu'il se proposait de faire sur ce sujet; car, outre l'inconvénient d'exiger des calculs très-laborieux, elle a celui d'introduire dans les résultats l'influence des anomalies que présentent parfois des expériences de ce genre, et que dans d'autres recherches il est à peu près impossible d'éviter.

La représentation graphique des données mêmes de l'expérience a l'avantage d'être plus expéditive et de mettre en évidence les résultats qui, par des circonstances accidentelles, s'éloignent de la loi commune. L'auteur l'a employée concurremment avec celle des moindres carrés, et la continuité des tracés qu'il a obtenus montre avec quel soin il a opéré.

L'emploi successif des deux méthodes nous paraît la meilleure marche à suivre.

Après avoir ainsi déterminé les valeurs des coefficients constants à introduire dans les formules de la résistance pour représenter les résultats des expériences faites sur chaque espèce et sur chaque diamètre de tuyaux, M. Darcy a calculé, à l'aide de ses formules, les vi-

tesses correspondant aux différentes pentes employées, et les a comparées avec les vitesses observées directement; puis il a déterminé les rapports des différences entre les vitesses observées et les vitesses calculées aux vitesses données par l'expérience.

Les résultats de cette comparaison donnent la mesure du degré de confiance que l'on peut avoir dans les formules.

Cette discussion montre que pour chaque tuyau et chaque diamètre, dès que les vitesses ont atteint quelques décimètres, la formule de la résistance, qui ne contient qu'un terme proportionnel au carré de la vitesse moyenne, reproduit les résultats de l'expérience avec une exactitude qui est sensiblement la même que celle que l'on obtient avec la formule à deux termes ; et l'auteur fait remarquer que cette coïncidence se manifeste surtout pour les tuyaux recouverts d'une couche de dépôts, ce qui est l'état normal des conduites.

En comparant ensuite, pour des tuyaux de même diamètre ou de diamètres peu différents, les valeurs obtenues pour le coefficient numérique qui détermine la valeur absolue de la résistance, M. Darcy montre que l'état des surfaces, leur poli plus ou moins grand, exercent une influence très-notable sur l'intensité de la résistance. C'est ainsi que, pour des tuyaux de $0^{m},196$, $0^{m},188$ et $0^{m},243$ de diamètre respectivement, en tôle recouverte de bitume, en fonte neuve et en fonte recouverte de dépôts, le coefficient de la formule

$$RI = b_1 v^2$$

varie à peu près dans les rapports de 1 à 1,5 et à 3.

Ce résultat, très-important pour le service des eaux, montre que, pour assurer la production régulière et normale des conduites, il faut les supposer parvenues, par la prolongation du service, à l'état de surfaces recouvertes de dépôts, quelle que soit d'ailleurs la matière plus ou moins polie qui les forme. Dans les premiers temps de la mise en service, le produit sera plus considérable que celui qu'indiqueraient les formules, mais il s'en rapprochera de plus en plus, et le produit normal sera celui que l'on avait voulu obtenir.

M. Darcy examine ensuite quelle peut être l'influence du diamètre des conduites sur l'intensité de la résistance, et, après avoir constaté que le coefficient numérique de cette résistance diminue à mesure que le diamètre augmente, il cherche une formule propre à en représenter la loi en fonction du diamètre, d'une manière assez simple pour la facilité des calculs.

En employant la formule

$$RI = b_1 v^2,$$

où la résistance est simplement proportionnelle au carré de la vitesse, il montre que les valeurs du coefficient numérique b_1 de cette formule peuvent être représentées par l'expression très-simple

$$b_1 = \alpha + \frac{\beta}{R},$$

c'est-à-dire qu'il se compose d'un terme constant, et d'un terme qui varie en raison inverse du rayon du tuyau.

En comparant cette expression avec les valeurs de b_1, déduites des résultats de huit expériences faites sur des tuyaux en fer étiré et en fonte, sensiblement au même degré de poli, et dont les diamètres ont varié depuis $0^m,0122$ jusqu'à $0^m,50$, M. Darcy trouve que la valeur du coefficient b_1 peut être représentée par la formule

$$b_1 = 0,000507 + \frac{0,00008647}{R};$$

et, en mettant en regard les résultats de cette formule avec ceux que l'expérience avait fournis directement, il constate entre eux un accord très-satisfaisant pour la pratique, ce qui lui permet de calculer une Table des valeurs du coefficient b_1 de la formule

$$RI = b_1 v^2$$

pour tous les diamètres depuis $0^m,01$ croissant de centimètre en centimètre jusqu'à $0^m,50$, et de 5 en 5 centimètres jusqu'à 1 mètre.



Comme cette formule donne, pour la pente capable de faire obtenir une vitesse donnée v, avec un tuyau de rayon donné R, la relation

$$I = \frac{b_1}{R} v^2,$$

et, pour la vitesse correspondante à une pente et à un diamètre donnés, la relation

$$v = \sqrt{I : \frac{b_1}{R}};$$

l'auteur a aussi calculé les valeurs des quantités $\frac{b_1}{R}$ et $\sqrt{\frac{b_1}{R}}$ pour tous les diamètres des tuyaux précédents, ce qui fournit les éléments de la solution des principaux problèmes qui peuvent se présenter.

Au surplus, l'auteur fait remarquer que cette variation du coefficient de la résistance, dont il est convenable de tenir compte pour les petits tuyaux, est beaucoup moins sensible à partir des diamètres de $0^m,12$ à $0^m,15$ et au delà, et qu'il y a peu d'inconvénient à le considérer comme constant pour les tuyaux de ces dimensions, que l'on emploie le plus souvent dans les distributions importantes.

Pour faciliter les applications, M. Darcy a, de plus, calculé des Tables basées sur la formule $RI = b_1 v^2$, qui donnent, pour tous les diamètres précédemment indiqués, et pour des vitesses variant de centimètre en centimètre jusqu'à 50, de 2 en 2 centimètres entre 50 centimètres et 2 mètres, et de 5 en 5 centimètres entre 2 et 3 mètres de vitesse :

1°. Les pertes par 100 mètres, ou les pertes de charges consommées par les frottements;

2°. Les volumes d'eau débités en une seconde.

L'auteur recherche de même la loi de la variation des coefficients de la formule ordinaire à deux termes, adoptée par M. de Prony, en fonction des diamètres : mais cette détermination qu'il fait suivre d'une Table des valeurs des coefficients correspondant aux différents diamètres nous paraît moins importante que la précédente, puisque

celle-ci est relative à une formule plus simple et tout aussi exacte.

Il ne faut pas, en effet, perdre de vue que, dans l'étude des phénomènes dont il s'agit ici, on ne doit pas se flatter d'obtenir des lois mathématiques, mais simplement des règles empiriques qui représentent avec une exactitude suffisante et entre des limites données les résultats de l'expérience; et dès lors les plus simples sont les meilleures si l'exactitude est à peu près la même.

Dans cette discussion, l'auteur a reconnu que, pour les faibles vitesses dans les tuyaux à parois assez lisses, l'influence du terme proportionnel au carré de la vitesse disparaissait à peu près vis-à-vis de celle du terme proportionnel à la première puissance, de sorte que l'expression de la résistance devenait simplement $RI = a_1 v$, ce qui indiquait que les pertes de charge produites par le frottement, aux petites vitesses, étaient alors proportionnelles à ces vitesses.

Dans le chapitre V de son Mémoire, M. Darcy se propose de rechercher la loi de la variation de la vitesse des filets fluides dans les tuyaux de conduite, depuis l'axe, où elle est un maximum, jusqu'à la paroi, où elle est un minimum.

Pour cette étude délicate, plus intéressante au point de vue physique qu'à celui des applications, l'auteur a employé des moyens ingénieux et assez précis. A l'aide d'un petit tube de *Pitot* très-délié, dont il pouvait placer la branche parallèle à l'axe à différentes distances de cet axe, et d'un manomètre donnant la pression exercée sur la paroi, il a déterminé l'excès de la pression observée au tube de Pitot sur celle du manomètre, et, par un procédé spécial de *tare*, la vitesse du filet fluide qui agissait sur ce tube, ou tout au moins une quantité en rapport avec cette vitesse.

Cela fait, en comparant pour diverses pentes l'excès des vitesses trouvées dans l'axe, sur les vitesses observées à diverses distances de l'axe, avec les racines carrées des pentes, il a reconnu :

1°. Que le rapport de ces excès de vitesses aux pentes était constant;

2°. Que le rapport de ces mêmes excès de vitesses à la puis-

sance $\frac{3}{2}$ des distances des filets à l'axe était aussi constant pour une même pente;

3°. Que le rapport K des mêmes excès de vitesse au produit $r^{\frac{3}{2}}\sqrt{I}$, constant pour un même tuyau, varie d'un tuyau à l'autre en raison inverse du rayon du tuyau, de sorte que le produit $\frac{K}{R}$ est constant.

Ce qui l'a conduit à conclure que la relation entre la vitesse V des filets situés dans l'axe même des tuyaux, avec les vitesses v des filets situés à une distance r de l'axe, était représentée par la formule

$$V - v = \frac{K r^{\frac{3}{2}} \sqrt{I}}{R},$$

R étant le rayon du tuyau; formule qui donne, pour la vitesse w de la paroi où $r = R$,

$$V - w = KR^{\frac{1}{2}}\sqrt{I} = K\sqrt{RI}$$

et

$$w = V - K\sqrt{RI},$$

et, par suite, la formule

$$v = V - \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R^{\frac{3}{2}}}(V - w),$$

qui lie la vitesse d'un filet quelconque à la vitesse dans l'axe et à la vitesse à la paroi; équation que l'auteur reproduit par des constructions graphiques qui donnent la courbe qui lie les vitesses des différents filets à leur distance à l'axe des tuyaux.

Enfin l'auteur trouve, pour l'expression de la vitesse moyenne en fonction de la vitesse dans l'axe et de la vitesse à la paroi,

$$u = \frac{3V + 4w}{7},$$

et pour la distance à l'axe du filet animé de cette vitesse moyenne, la valeur

$$r = 0{,}689\ \mathrm{R}.$$

En comparant les résultats des expériences faites dans différents tuyaux, l'auteur arrive à cette conséquence, que, si l'état de poli plus ou moins parfait des parois a une influence notable sur la résistance, et, par suite, sur la vitesse moyenne que le fluide prend dans la conduite, il ne paraît pas en exercer sur la loi de la variation des vitesses depuis l'axe jusqu'à la paroi, qui ne semble dépendre que de la viscosité propre du liquide, ce qui, d'ailleurs, semble parfaitement rationnel.

Dans le cours de ses expériences, l'auteur a constaté qu'une impulsion centrale très-vive, telle que celle qui pouvait être produite par l'insertion, dans le sens de l'axe du tuyau, d'un filet fluide de petite section animé d'une vitesse beaucoup plus grande que la vitesse moyenne de l'axe dans le tuyau, ne troublait pas d'une manière appréciable la loi de distribution des vitesses des filets fluides.

Enfin, le chapitre VI, après quelques considérations sur les circonstances qui peuvent produire la prépondérance de l'un des termes de la résistance sur l'autre, a pour objet de faire connaître les résultats des expériences par lesquelles l'auteur a vérifié la valeur du coefficient de contraction qu'il convient d'employer pour calculer le débit des conduites d'eau, à l'aide de l'observation des charges en amont, et à une petite distance en aval de leur origine.

Ces expériences ont conduit M. Darcy à assigner à ce coefficient, pour des tuyaux dont les diamètres ont varié depuis $0^{m},036$ jusqu'à $0^{m},297$, la valeur moyenne de $0^{m},825$, qui est celle que l'on admet généralement pour les ajutages cylindriques.

Mais nous rappellerons que, d'après la théorie donnée par M. Poncelet dans ses Leçons de l'École de Metz, théorie vérifiée par de nombreuses expériences faites par notre savant confrère à Toulouse en 1841, la valeur de ce coefficient est une fonction de celle du

coefficient de la contraction complète à l'entrée du tuyau, et que celui-ci varie avec les charges génératrices de la vitesse et les dimensions des orifices. Il en résulte que le coefficient de la contraction à l'origine des conduites doit lui-même être variable avec ces éléments. Il nous semble donc nécessaire d'appeler l'attention de l'auteur sur ce point, avec d'autant plus de motifs qu'il a lui-même trouvé des valeurs très-différentes pour ce coefficient, et que ce n'est que par une compensation de différences, qu'il a obtenu, pour valeur moyenne du coefficient de contraction à l'entrée des conduites, la valeur $0^{m},825$ généralement admise.

On voit, par l'analyse détaillée que nous avons cru devoir donner de l'important travail de M. Darcy, qu'il a de beaucoup accru les connaissances que la science de l'Ingénieur devait à ses prédécesseurs.

Le résultat capital qu'il a bien constaté, et qui doit désormais être admis par les Ingénieurs, c'est que les coefficients des formules généralement admises pour représenter la résistance des parois au mouvement de l'eau, ne sont pas constants, qu'ils varient, au contraire, avec le poli plus ou moins grand des surfaces et avec le diamètre des tuyaux.

Les Tables données par l'auteur pour le cas le plus général des tuyaux recouverts d'une couche de dépôts par suite d'un service prolongé, mettront d'ailleurs les praticiens en état de résoudre facilement les questions d'application, malgré cette complication nouvelle des formules, en même temps qu'elles leur éviteront des mécomptes assez graves sur le produit des conduites.

M. Darcy n'a pas borné ses travaux sur le mouvement de l'eau aux recherches si longues et si délicates dont nous venons de rendre compte à l'Académie, et l'on peut espérer que, si l'appui du Ministère des Travaux publics ne lui fait pas défaut, il pourra bientôt compléter les études qu'il a déjà entreprises sur le mouvement de l'eau dans les canaux, pour faire suite à celles qu'il a présentées sur les tuyaux de conduite.

Vos Commissaires pensent que de semblables recherches, qui exigent à la fois tant de soins, de persévérance et de talent, méritent la haute approbation de l'Académie, et ils vous proposent d'ordonner l'insertion du Mémoire de M. Darcy dans le *Recueil des Savants étrangers*.

Les conclusions de ce Rapport sont adoptées.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

RELATIVES

AU MOUVEMENT DE L'EAU

DANS LES TUYAUX.

EXTRAIT DU TOME XV

DES MÉMOIRES PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS

A L'ACADÉMIE DES SCIENCES.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

RELATIVES

AU MOUVEMENT DE L'EAU

DANS LES TUYAUX,

PAR M. H. DARCY,

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS-ET-CHAUSSÉES.



PARIS.

IMPRIMERIE IMPÉRIALE.

M DCCC LVII.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

RELATIVES

AU MOUVEMENT DE L'EAU

DANS LES TUYAUX.

SOMMAIRE.

Ce Mémoire traitera du mouvement de l'eau dans les tuyaux.

Il est divisé en six chapitres.

Le premier chapitre a pour objet d'indiquer les motifs qui m'ont déterminé à me livrer à ces recherches expérimentales.

Le second chapitre est consacré à la description des appareils employés dans ces recherches.

Le troisième présente le résultat des expériences.

Le quatrième, les procédés employés pour déterminer les coefficients des formules.

Le cinquième donne la description des expériences relatives à la recherche de la loi qui lie entre elles les vitesses des filets fluides.

Dans le sixième et dernier, je détermine le coefficient de contraction à l'entrée des conduites cylindriques; je fais précéder cette recherche d'un résumé des résultats obtenus dans le cours de ce Mémoire et de quelques considérations relatives aux variations respectives des deux termes de la résistance *dans l'expression générale* d'où l'on déduit la vitesse moyenne de l'eau dans une conduite cylindrique.

Ce Mémoire est suivi d'un appendice renfermant quatre notes, et terminé par des tables relatives à l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite, pour des diamètres variant de 1 centimètre jusqu'à 1 mètre inclusivement.

CHAPITRE PREMIER.

UTILITÉ DES EXPÉRIENCES.

Si l'on consulte l'histoire de l'Académie des sciences, année 1732, on aura lieu de constater que l'hydraulique expérimentale avait encore bien des progrès à faire.

Couplet venait d'essayer quelques expériences sur les conduites d'eau de Versailles, et l'Académie s'exprime ainsi dans le compte rendu qu'elle fait de ce travail :

« Il (Couplet) vient ensuite au point le plus difficile de toute cette matière, à la diminution que causent dans la dépense des eaux les accidents physiques, tels que les frottements de l'eau contre les parois intérieures des conduites, les sinuosités de ces conduites, l'air qui s'y trouve intercepté.

« On est peu instruit sur ces sujets, faute d'expériences assez en grand; les conduites courtes ne s'écartent pas beaucoup des règles ordinaires et de la théorie, les longues s'en écartent quelquefois prodigieusement. Par bonheur, M. Couplet a fait des expériences à Versailles, où tout est à souhait pour le grand; mais il s'en faut bien qu'il en ait fait encore assez pour en pouvoir tirer des conclusions un peu générales avec quelque sûreté. Nous ne ferons que détacher de ses observations ou de ses réflexions celles qui paraissent les plus remarquables, et nous n'entrerons nullement dans la description exacte qu'il donne des lieux et des conduites, parce qu'elle n'est nécessaire que pour le détail.

« La règle que les vitesses de l'eau sont comme les racines carrées des hauteurs d'où elle tombe, ou, ce qui est le même, des hauteurs de la colonne d'eau dont la charge fait couler l'eau inférieure, est extrêmement trompeuse dans les grandes conduites,

telles que celles de Versailles, qui vont quelquefois à plus de 2,000 toises. Si l'on jugeait par cette règle de la quantité d'eau qui doit venir, il y a tel cas où l'on trouverait 407 pouces au lieu des 10 1/2 qui sont venus réellement à M. Couplet lorsqu'il en a fait l'expérience. C'est une différence presque du total.

« Assez souvent la quantité d'eau est vingt ou trente fois moindre que celle que la règle promettait. Cette étrange diminution vient des frottements, du moins en grande partie. On voit, et on le devinerait sans expérience, que leur effet est d'autant plus grand que les conduites sont plus longues, les diamètres des tuyaux plus petits, les sinuosités ou coudes plus fréquents, les angles de ces coudes plus aigus, la vitesse de l'eau plus grande, mais on aura bien de la peine à savoir, seulement à peu près, la valeur de chacun de ces principes de diminution, et quels seront les résultats de leurs combinaisons différentes. »

Il est permis d'induire de cette citation qu'en 1732, non-seulement on ignorait les lois expérimentales de l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite, mais qu'on croyait à peine à la possibilité de les découvrir un jour.

Des hommes de science et de pratique se chargèrent successivement de démontrer cette possibilité.

Plus tard, de Prony, dont le nom restera toujours gravé dans la mémoire des ingénieurs et de tous ceux qui s'occupent de questions hydrauliques, arriva pour couronner l'œuvre.

Il s'arma de 51 expériences faites sur l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite :

7 par Couplet,
26 par Bossut,
18 par Dubuat, ce créateur de la science positive des eaux courantes, suivant la juste expression d'un homme qui a rendu aussi de grands services à l'hydraulique, M. l'ingénieur en chef d'Aubuisson.
51

Puis, modifiant heureusement la formule de M. l'ingénieur Girard, formule qui avait été suggérée à ce savant par les belles

expériences de Coulomb sur la résistance des liquides, M. de Prony arriva à l'expression bien connue

$$\frac{1}{4} Dj = \alpha v + \beta v^2,$$

dans laquelle

D = le diamètre du tuyau,
j = la pente par mètre,
α = 0,0000 173 314,
β = 0,000 348 2590.

Telle est la formule employée par tous ceux qui ont à projeter ou à exécuter des distributions d'eau.

L'habileté incontestable des expérimentateurs, et l'autorité du nom de M. de Prony l'ont rendue, pour ainsi dire, classique, et M. Mary, ancien ingénieur en chef des eaux de Paris, aujourd'hui membre du conseil général des ponts et chaussées, s'exprime ainsi, dans le cours qu'il professe à l'École des ponts et chaussées, à l'occasion des tables qu'il a calculées d'après la formule précitée :

« Cette formule donne des débits plus faibles que ceux que l'on obtient avec des conduites neuves, la différence peut aller pour les gros diamètres jusqu'à $\frac{1}{5}$; de sorte qu'en faisant usage de ces tables, on n'a pas à se préoccuper de l'effet de légers dépôts qui peuvent diminuer le diamètre des tuyaux et augmenter le frottement de l'eau. »

La sécurité des ingénieurs aurait donc dû être complète. Cependant M. Arago reçut, le 1[er] octobre 1829, de M. d'Aubuisson, ingénieur en chef des mines et auteur de la distribution d'eau de Toulouse, une lettre qu'il fit insérer dans le cahier de mars 1830 des *Annales de physique et de chimie*.

« Il est peu de branches des sciences physico-mathématiques, disait M. d'Aubuisson, plus importantes sous le rapport d'une application continuelle à la pratique que celle qui traite du mou-

vement de l'eau dans les tuyaux de conduite; il en est peu en conséquence dont il importe plus de perfectionner les règles ou formules. Déjà quelques savants, entre autres Dubuat, de Prony et Eytelwein, se sont occupés d'établir ces formules; mais ils les ont basées sur des expériences généralement faites sur d'assez petits tuyaux, et elles se sont trouvées en défaut lorsqu'on les a appliquées aux grandes conduites. Leurs résultats, comparés à ceux des expériences que Couplet avait faites, dans le dernier siècle, sur les conduites du parc de Versailles, ont présenté des anomalies considérables. De nos jours, les ingénieurs des eaux de Paris n'ont obtenu de la conduite qui alimente la fontaine des Innocents, que les deux tiers de l'eau indiquée par les formules.

« Celle du faubourg Saint-Victor ne leur a même donné que moitié; il faut en conséquence que l'observation fournisse encore à la théorie de nouvelles données pour le perfectionnement de ses règles.

« L'établissement de nombreuses conduites dernièrement fait à Toulouse, sur lequel vous avez porté votre attention à votre passage dans cette ville, m'a mis à même de faire plusieurs expériences qui pourront servir à cet usage; elles seront l'objet d'un mémoire particulier. Je me bornerai à remarquer ici que leurs résultats sont assez conformes à ceux des formules généralement admises, celles de MM. de Prony et Eytelwein, lorsque nous donnons peu de vitesse à l'eau dans une conduite en rétrécissant l'orifice de sortie à l'aide d'un ajustage, ou plutôt à l'aide d'une mince platine percée d'un trou de 1 ou 2 centimètres de diamètre; mais plus ce diamètre augmente, plus il y a de divergence, et lorsque la platine a été ôtée, le produit s'est trouvé d'un quart et d'un tiers moindre que celui des formules : d'où je conclus que, dans ces expériences, les résistances ont cru comparativement à la vitesse du fluide, dans un plus grand rapport que celui qui est admis dans le calcul (on y suppose que la résistance croît proportionnellement à $v^2 + mv$, m étant à peu près égal à 0,055 et v représentant la vitesse moyenne). »

« La disposition de quelques-unes de nos conduites a encore permis de faire des expériences d'une nature particulière. On mène l'eau sur les points principaux de la ville à l'aide de deux conduites égales en diamètre et placées l'une à côté de l'autre dans la même galerie (si une avait besoin de réparation, l'autre pourvoirait au service), de sorte que l'on peut à volonté donner l'eau aux mêmes orifices ou bouches de sortie par une ou par deux conduites.

« J'ai fait connaître (dans mon petit *Traité du mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite*, page 51) une expérience de ce genre, faite de concert avec M. de Montbel, lorsqu'il était maire de Toulouse. L'eau, étant fournie au beau jet d'eau de la place Bourbon par deux conduites de $0^m,16$ de diamètre et 287 mètres de longueur sous une charge de $7^m,19$, s'est élevée à une hauteur de . . . . $6^m,55$
en n'employant qu'une conduite, l'élévation n'était que de $5^m,83$
Le volume d'eau dépensé était d'environ $0^{m},012$ cubes par seconde. C'est encore de quelques expériences de cette espèce que je vais vous entretenir. Elles m'ont paru d'un assez grand intérêt pour vous être communiquées, et même pour occuper une place dans vos *Annales de physique et de chimie;* vous en déciderez. Avant de les exposer, je rappelle le principe qui nous a dirigés, et je fais connaitre les conduites sur lesquelles on a opéré.

« Admettons une conduite pleine d'eau en repos; la charge ou pression sur chaque point des parois serait mesurée par le poids d'une colonne d'eau ayant pour hauteur la verticale comprise entre ce point et le niveau du fluide sur la tête de la conduite : en conséquence, si l'on perçait la paroi en différents points et qu'à chaque trou percé l'on adaptât un tube vertical, l'eau s'élèverait dans tous les tubes au niveau susmentionné. Supposons maintenant que le fluide se meuve dans la conduite et que le mouvement y soit parvenu à l'uniformité; si la conduite n'opposait aucune résistance au mouvement, la pression sur chaque point ne serait diminuée que de la hauteur due à la vitesse du fluide vis-à-vis ce point, et la vitesse étant partout la même (à égalité de diamètre), toutes les

diminutions de pression seraient égales, toutes les colonnes manométriques baisseraient d'une égale quantité, et leurs extrémités supérieures seraient encore à un même niveau. Mais il n'en est pas réellement ainsi : la conduite, soit par le frottement contre les parois, soit par des étranglements, etc. oppose une résistance au mouvement; dès lors les colonnes fluides contenues dans les tubes faisant fonction de manomètres diminuent de hauteur depuis l'origine de la conduite jusqu'à son extrémité : et la différence de hauteur ou de niveau pour deux points pris à volonté indique la résistance que la conduite a opposée au mouvement entre ces deux points; en conséquence, si à l'extrémité d'une conduite on adapte convenablement un tube manométrique, la différence de niveau entre l'eau qu'il renferme et celle qui est sur le tube de la conduite exprimera la résistance de la conduite : ce sera la hauteur de la colonne d'eau, mesurant cette résistance. »

M. d'Aubuisson passe ensuite à la description de ces expériences, dont les résultats sont portés au tableau synoptique suivant :

NUMÉROS d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE des tuyaux.	LONGUEUR.	VOLUME débité.	PERTE DE CHARGE d'après		RAPPORT entre les résistances.
				L'EXPÉRIENCE.	LA FORMULE.	
	mét.	mét.	pouces.	mét.	mét.	
1	0,27	605,26	76,065	0,453	0,343	0,757
2	0,27	605,26	140,25	1,413	1,06	0,750
3	0,12	437,50	14,80	0,805	0,542	0,673
4	0,12	437,50	26,83	2,423	1,657	0,683

En mars 1830, M. d'Aubuisson, et M. Castel, conservateur des fontaines de Toulouse, ont fait d'autres expériences dans lesquelles les rapports des pertes de charge, selon la formule et l'expérience, s'affaiblissent encore.

Ces expériences sont données avec détail dans l'histoire de l'établissement des fontaines de Toulouse. Elles sont au nombre

de cinq, comprenant chacune plusieurs groupes de tuyaux de $0^m,08$, 0,09, 0,12, 0,16 de diamètre.

Je me bornerai à rappeler ici les rapports entre les pertes de charge données par l'expérience et la formule.

Ces rapports sont :

Expérience n°	1	0,511
———	2	0,42
———	3	0,47
———	4	0,46
———	5	0,524

Il parait donc résulter de ces expériences que la formule de M. de Prony ne donnerait, au moins pour les conduites déjà posées depuis un certain temps, qu'une résistance deux fois plus petite que la résistance indiquée par des expériences spéciales.

M. de Prony fait remarquer (page 171 de ses *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes*) que le calcul de la vitesse, par sa formule, n'a rien de difficile, mais que cependant, lorsqu'il s'agira de calculs pratiques ordinaires et que la vitesse de l'eau dans le tuyau ne sera pas très-petite, on pourra évaluer cette dernière par l'équation très-simple

$$V = 26{,}79\sqrt{Dj},$$

ou pour le volume

$$Q = 21{,}03\sqrt{D^5 j}.$$

Ce qui revient, on le voit, à supposer que les résistances sont simplement proportionnelles au carré des vitesses du fluide.

M. d'Aubuisson dit aussi que dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire lorsqu'il s'agit de vitesses supérieures à $0^m,60$ par seconde, il se borne à recourir à la formule

$$Q = 14{,}66\sqrt{D^5 j}.$$

Voici comment il est parvenu à cette expression :

Des expériences de Couplet, il a déduit l'équation

$$Q = 20{,}3\sqrt{D^5 j},$$

puis partant du résultat pratique constaté par lui, savoir que la charge doit être doublée, il conclut que Q doit être divisé par $\sqrt{2}$, ce qui conduit en définitive à

$$Q = 14{,}66\sqrt{D^5 j},$$

laquelle donne des résultats d'environ $\frac{1}{3}$ plus faibles que celles de M. de Prony, et motive la méthode que M. d'Aubuisson recommande et qui consiste à supposer que les tuyaux ont à conduire moitié en sus du volume d'eau auquel ils doivent réellement livrer passage.

En présence de tous ces résultats n'était-il pas opportun, au moins dans un intérêt pratique, de rechercher les causes des déviations observées?

Dans certaines circonstances, les formules semblent justifiées par l'expérience; dans d'autres, elles offrent avec les faits observés un désaccord complet.

L'harmonie qui existe aujourd'hui entre les formules et les résultats de l'expérience se maintiendra-t-elle encore après quelques années, lorsqu'une légère couche d'oxyde ou de dépôt calcaire altérera l'état de la surface sans même modifier la section d'une manière appréciable?

Et s'il en est autrement, dans quelles limites cette altération des surfaces exercera-t-elle son influence sur le débit?

M. d'Aubuisson croit à tort, suivant moi, et j'espère le démontrer, que la théorie devrait recevoir quelques modifications, et qu'il serait possible que la résistance crût comparativement à la vitesse dans un rapport plus grand que celui qui est admis, d'après Coulomb, dans les calculs.

Il m'a paru toutefois que les rayons devaient jouer un rôle plus important que celui qui leur est attribué.

Que l'on considère, en effet, la petite couche liquide en contact avec les parois et logée en partie dans les interstices formés par la rugosité des surfaces.

Que l'on considère, en outre, les attractions exercées par ces parois, et l'on admettra, je crois, que les éléments de cette couche sont animés de mouvements giratoires comparables à ceux que l'on remarque dans les élargissements brusques des lits des canaux, et qu'ils ne participent pas, au même degré que les autres, au mouvement de translation générale.

On comprendra encore que les particules qui viennent choquer dans leur marche les saillies dont la paroi est parsemée jettent un certain trouble dans la translation des filets voisins.

Or l'un et l'autre de ces effets doivent avoir d'autant plus d'influence sur le débit, que le diamètre du tuyau est plus petit.

J'ai du moins constaté que les choses se passaient comme si ces hypothèses étaient fondées.

Il est vrai que la formule de M. de Prony est en désaccord avec ce que j'avance maintenant et ce que je me réserve de prouver plus tard. Mais je puis dès à présent faire remarquer que les 51 expériences de MM. Bossut, Dubuat et Couplet se subdivisent ainsi :

Bossut, 26, avec tuyaux neufs en fer-blanc d'un pouce à deux pouces de diamètre, ayant de $9^m,74$ à $58^m,47$ de longueur.

Dubuat, 18, avec tuyaux neufs en fer-blanc de $0^m,0271$ de diamètre et de $19^m,95$ de longueur.

Couplet, 6, avec un tuyau de $0^m,135$ anciennement posé et d'une longueur de 2,280 mètres.

1, avec tuyau de $0^m,49$ anciennement posé et d'une longueur de 1,169 mètres.

Ce simple exposé suffit pour faire comprendre que si, contrairement aux allégations des premiers expérimentateurs, l'état des surfaces exerce une notable influence sur le débit, une espèce de compensation a pu s'établir entre le débit de tuyaux de petit diamètre neufs et d'anciens tuyaux de grand diamètre.

C'est l'explication naturelle de ce qui parait causer l'étonnement

que M. de Prony manifeste dans ses recherches (art. 43, p. 70) au sujet de l'identité parfaite de la quarante-troisième expérience avec la formule.

J'ai dit les principaux motifs qui m'ont engagé à entreprendre la longue série d'expériences[1] que je vais bientôt décrire. Mais afin d'arriver à la solution de cette double question, savoir :

1° Influence de l'état des surfaces sur le débit;

2° Rôle que paraissent jouer les diamètres.

Il était indispensable de procéder autrement qu'on ne l'a fait jusqu'à présent.

Il fallait faire, en nombre suffisant, des expériences sur des tuyaux de diamètres divers, de différentes natures, à parois neuves ou recouvertes de dépôts.

Il fallait ensuite opérer le classement de ces expériences par espèces de tuyaux et par diamètres, de telle façon que l'on pût, s'il y avait lieu, en déduire des lois générales.

On ne pouvait évidemment arriver qu'à une sorte de compensation confuse en combinant entre elles des expériences faites sur des tuyaux de différents diamètres, à parois lisses ou recouvertes de dépôts[2].

C'est cette confusion que j'ai cherché à éviter. Le tableau synoptique suivant donne la nomenclature, l'espèce et l'état des surfaces des tuyaux soumis à mes expériences.

Il indique en outre le nombre des expériences auxquelles chaque tuyau a été assujetti, et les limites entre lesquelles j'ai fait varier les vitesses.

[1] MM. Poncelet et Bellanger ont bien voulu assister à plusieurs de mes expériences, examiner mes appareils et me donner des conseils qui m'ont été très-profitables.

[2] Si MM. de Prony et Dubuat ont agi différemment, c'est qu'ils avaient posé ce principe : « Lorsque le fluide coule dans un tuyau ou sur un lit susceptible d'être mouillé, une lame ou couche du fluide reste adhérente à la matière qui compose ce tuyau, ou dans laquelle ce lit est creusé : cette couche peut ainsi être regardée comme la véritable paroi qui renferme la masse fluide en mouvement. »

TABLEAU DES TUYAUX SOUMIS AUX EXPÉRIENCES.

NUMÉROS D'ORDRE.	DIAMÈTRES.		NATURE DES TUYAUX.	ÉTAT des SURFACES.	LONGUEUR de chaque tuyau.	NOMBRE DE JOINTS par 100 mètres.	MODE DE RACCORDEMENT.	VITESSES MOYENNES OBTENUES. Minimum.	Maximum.
	mèt.				mèt.			mèt.	mèt.
1	0,0122			neuf......	2,15	47	A vis...........	0,0344	1,195
2	0,0266	3	Fer étiré	idem......	2,47	40	Idem...........	0,0578	2,1840
3	0,0395			idem......	3,85	26	Idem...........	0,0626	2,5971
4	0,014			neuf......	11,75	8	Nœuds en soudure.	0,04	1,29
5	0,027	3	Plomb........	idem......	6,60	16	Idem...........	0,065	1,679
6	0,041			idem......	5,20	20	Idem...........	0,12	2,305
7	0,0268			neuf......	2,79	36	A vis...........	0,03	2,507
8	0,0826	4	Tôle et bitume.	idem......	2,90	34	Idem...........	0,10	3,897
9	0,196			idem......	2,90	34	Idem...........	0,18	6,01
10	0,265			idem......	2,90	34	Idem...........	0,395	3,207
11	0,04968	1	Verre........	neuf......	1,16	86	Joints à brides....	0,153	2,108
12	0,0359			avec dépôts.	1,30	77	Idem...........	0,051	0,633
13	0,0364			nettoyé....	1,30	77	Idem...........	0,113	1,126
14	0,0795			avec dépôts.	2,50	40	Emboîtements....	0,123	1,142
15	0,0801			nettoyé....	2,50	40	Idem...........	0,193	1,526
16	0,0819			neuf......	2,50	40	Idem...........	0,088	3,265
17	0,0137	11	Fonte........	idem......	2,50	40	Idem...........	0,169	4,693
18	0,188			idem......	2,50	40	Idem...........	0,205	4,928
19	0,2432			avec dépôts.	2,50	40	Joints à brides....	0,307	3,833
20	0,2447			nettoyé....	2,50	40	Idem...........	0,278	4,497
21	0,292			idem......	2,50	40	Emboîtements....	0,244	3,16
22	0,50			neuf......	2,50	40	Idem...........	0,4207	1,1278

Je dirai d'abord que ces recherches m'ont permis de donner une démonstration positive d'un fait dont la preuve ne reposait, je crois, sur une expérience incomplète de Dubuat.

M. de Prony fait remarquer en effet dans ses *Recherches hydrauliques* que, « d'après des expériences nombreuses et soignées de Dubuat, Dobeinhem et Benezech, dans le cas de fluidité du corps en mouvement, les résistances qui modifient l'effet de la pesanteur sont, dans une section transversale quelconque, indépendantes des pressions des molécules comprises dans cette section. »

Or, l'expérience de Dubuat sur laquelle cette conclusion repose ne saurait porter la conviction dans l'esprit.

« Il paraît, dit Dubuat, page 52 de ses *Principes d'hydraulique*,

que la pression contre les parois est totalement étrangère à la résistance que l'eau éprouve en oscillant; car on peut remarquer dans les expériences 112 et 114 que la pression moyenne de l'eau contre les parois du tuyau était beaucoup moindre que dans les expériences 111 et 113; les vitesses y étaient aussi un peu moindres parce que la colonne fluide était un peu plus courte : deux raisons pour que la résistance y fût moindre et que le mouvement durât plus longtemps; mais comme il est arrivé le contraire, il faut conclure que le plus ou moins de pression n'influe pas sur la résistance d'un lit ni sur l'intensité du frottement. »

Or la pression

dans les expériences 112 et 114 { était, sur la partie inférieure du siphon, de $0^m,30$ environ;

La pression

dans les expériences 111 et 113 { était, sur la partie inférieure du siphon, de $1^m,30$ environ.

Il semblait ainsi au premier abord que la pression fût dans le premier cas quatre fois moins grande que dans le second. Mais il fallait évidemment ajouter le poids de l'atmosphère.

Le rapport des pressions n'était donc en réalité que $\frac{10,30}{11,30} = \frac{103}{113}$, c'est-à-dire trop faible pour que l'on pût en tirer une conclusion positive.

Dans les expériences spéciales que j'ai faites, au contraire, j'ai disposé les pressions de telle sorte qu'elles fussent dans le rapport réel d'environ $\frac{18}{41}$.

Le résultat trouvé n'était plus susceptible de controverse.

Si l'on remarque que, d'après les expériences de Coulomb, la résistance éprouvée par les liquides glissant contre des parois est exprimée par une fonction de la forme

$$\alpha v + \beta v^2,$$

v étant la vitesse du fluide contre les parois, et les coefficients α et β des nombres constants à déduire de l'expérience.

On trouvera que, dans un tuyau de rayon R, la résistance éprouvée par le liquide est, par mètre courant,

$$2\pi R(\alpha v + \beta v^2):$$

mais, le mouvement étant uniforme, on démontre que cette expression est égale au poids d'un cylindre liquide ayant pour diamètre celui du tuyau et pour hauteur la charge i du tuyau par mètre courant. On aura donc en faisant

$$\frac{\alpha}{1000} = a, \ \frac{\beta}{1000} = b,$$

$$\pi R^2 i = 2\pi R(av + bv^2)$$

ou

$$\frac{Ri}{2} = av + bv^2.$$

Or on se rappelle que c'est précisément l'équation calculée par de Prony. Seulement, dans les ouvrages de cet éminent géomètre, v n'est point la vitesse à la paroi, mais la vitesse moyenne ou celle dont on fait le plus fréquent usage.

Avait-on le droit de faire cette substitution?

Tout ce qui résulte de l'analyse de de Prony, c'est que les actions réciproques des diverses couches concentriques fluides disparaissent de l'équation finale d'équilibre, et qu'il ne reste dans cette équation que la vitesse à la paroi.

Il est facile, du reste, de s'en assurer par un calcul direct, ainsi que l'a fait de Prony, ainsi que l'a fait plus tard M. l'ingénieur en chef Dupuit dans ses études hydrauliques.

Partageons, par la pensée, le fluide qui s'écoule dans un tuyau de rayon R, en une infinité de cylindres concentriques.

L'expérience démontrera que le cylindre central a la vitesse maximum, et que pour tous les autres cylindres-enveloppes la vitesse va toujours en décroissant jusqu'à ce que l'on arrive à la couche contiguë à la paroi, où l'on rencontre la vitesse minimum.

Soit, en partant du cylindre central,

v_n la vitesse centrale;

v_{n-1}
v_{n-2}
v_{n-3}
v_{n-4}
v_{n-5}
v_{n-6} les vitesses des couches concentriques;
.
.
.
.
.
.

v la vitesse à la paroi;

r_n
r_{n-1}
r_{n-2}
r_{n-3}
r_{n-4}
r_{n-5}
r_{n-6} les rayons correspondants;
.
.
.
.
.
.
R_1

le nombre de ces cylindres-enveloppes étant infini, les différences entre les vitesses

v_n et v_{n-1},
v_{n-1} et v_{n-2},
. . . .

sont infiniment petites;

les différences entre les rayons

$$r_n \text{ et } r_{n-1},$$
$$r_{n-1} \text{ et } r_{n-2},$$
$$r_{n-2} \text{ et } r_{n-3},$$
$$\dots\dots\dots\dots,$$

sont aussi infiniment petites et, par hypothèse, égales entre elles.

Soit δ cette différence, de telle sorte que

$$\frac{v_n - v_{n-1}}{\delta}, \quad \frac{v_{n-1} - v_{n-2}}{\delta}, \dots,$$

représentent en nombres finis des quantités proportionnelles aux différences infiniment petites des vitesses des couches.

D'après ces notations, il est évident que l'on peut poser la série d'équations suivante :

$$\pi r_n^2 i = 2\pi r_n f\left(\frac{v_n - v_{n-1}}{\delta}\right), \text{ [1]}$$

$$\pi(r_{n-1}^2 - r_n^2) i = 2\pi r_{n-1} f\left(\frac{v_{n-1} - v_{n-2}}{\delta}\right) - 2\pi r_n f\left(\frac{v_n - v_{n-1}}{\delta}\right),$$

$$\pi(r_{n-2}^2 - r_{n-1}^2) i = 2\pi r_{n-2} f\left(\frac{v_{n-2} - v_{n-3}}{\delta}\right) - 2\pi r_{n-1} f\left(\frac{v_{n-1} - v_{n-2}}{\delta}\right),$$

$$\pi(r_{n-3}^2 - r_{n-2}^2) i = 2\pi r_{n-3} f\left(\frac{v_{n-3} - v_{n-4}}{\delta}\right) - 2\pi r_{n-2} f\left(\frac{v_{n-2} - v_{n-3}}{\delta}\right),$$

$$\pi(r_{n-4}^2 - r_{n-3}^2) i = 2\pi r_{n-4} f\left(\frac{v_{n-4} - v_{n-5}}{\delta}\right) - 2\pi r_{n-3} f\left(\frac{v_{n-3} - v_{n-4}}{\delta}\right),$$

$$\dots \quad = \quad \dots$$
$$\dots \quad = \quad \dots$$

$$\pi(R^2 - R_1^2) = 2\pi R(av + bv^2) - 2\pi R_1 f\left(\frac{v_1 - v}{\delta}\right).$$

En effet, l'accroissement et la diminution de vitesse que chaque cylindre annulaire reçoit des cylindres intérieurs ou extérieurs, à raison de la cohésion des molécules fluides, est une fonction de la différence des vitesses ou des tangentes de la courbe précitée.

Quant à l'équation dernière qui a lieu pour le cylindre annu-

[1] On suppose les coefficients de la fonction qui exprime la résistance due à la cohésion divisés par Dg, produit de la densité du fluide par la gravité

laire contigu à la paroi, on reconnaît le premier terme du deuxième membre : ce terme est donné par la loi observée par Coulomb.

Si maintenant on ajoute toutes ces équations entre elles, on arrivera à l'équation déjà trouvée

$$\pi R^2 i = 2\pi R\,(av + bv^2)$$

ou

$$\frac{Ri}{2} = av + bv^2,$$

dans laquelle v exprime la vitesse à la paroi.

Équation très-remarquable, ainsi que le font observer MM. de Prony et Dupuit, en ce qu'elle est indépendante de toutes les forces retardatrices qui ne s'exercent pas à la paroi.

Mais, je le répète, pouvait-on substituer dans cette équation la vitesse moyenne u à la vitesse à la paroi?

L'expérience montre qu'en agissant ainsi on n'a pas fait d'erreur appréciable dans la pratique.

On verra plus tard, en effet, que dans les vingt-deux tuyaux que j'ai soumis aux expériences j'ai obtenu très-sensiblement des lignes droites en construisant une ligne avec

les $\frac{i}{u}$ déduits de l'expérience pour abscisses

et les u ou vitesses moyennes déduites de l'expérience pour ordonnées.

Or

$$\left.\begin{aligned} \frac{i}{u} &= m + nu \\ i &= mu + nu^2 \end{aligned}\right\}$$ donne précisément une parabole.

Ajoutons maintenant une partie seulement des équations précédentes entre elles, il viendra :

soit

$$\pi r^2_n\, i = 2\pi r_n f\left(\frac{v_n - v_{n-1}}{\delta}\right)$$

ou

$$\pi r^2_{n-1}\, i = 2\pi r_{n-1} f\left(\frac{v_{n-1} - v_{n-2}}{\delta}\right),$$

$$\pi r^2_{n-2}\, i = 2\pi r_{n-2} f\left(\frac{v_{n-2} - v_{n-3}}{\delta}\right),$$

$$\pi r^2_{n-3}\, i = 2\pi r_{n-3} f\left(\frac{v_{n-3} - v_{n-4}}{\delta}\right),$$

ou généralement $\pi r^2 i = 2\pi r f\left(-\frac{dv}{dr}\right)$;

le signe — est donné au coefficient différentiel parce que v diminue lorsque r croît.

Il est évident maintenant que l'équation $\pi r^2 i = 2\pi r f\left(-\frac{dv}{dr}\right)$, qui pour chaque pente présente la relation existant entre le rayon du cylindre annulaire et sa vitesse, donne l'équation de la courbe des vitesses.

Mais la fonction f est inconnue, et rien n'indique ici l'influence que peut avoir sur cette courbe le rayon du tuyau. L'expérience seule pouvait déterminer la forme de la fonction f, et l'influence du rayon du tuyau. J'ai donc cherché à déduire ces éléments de mes recherches expérimentales. Cela m'a permis de trouver l'expression de la vitesse moyenne, et la relation qui existe entre cette vitesse et celles au centre et à la paroi.

Ces résultats sont consignés dans le chapitre V.

Si on se reporte à l'équation d'équilibre $\frac{Ri}{2} = av + bv^2$, dans laquelle v, a et b représentent maintenant la vitesse moyenne et ses coefficients; on remarquera que l'on n'a point tenu compte de la charge nécessaire à la production de cette vitesse.

Ce ne pouvait être $\frac{v^2}{2g}$ à raison des phénomènes de la contraction; mais quelle est la valeur du coefficient de contraction dans la pratique?

Ce coefficient étant connu, on le substituera dans l'équation générale suivante :

$$\frac{Ri}{2} = \frac{R}{2l}\,\frac{v^2}{2gm^2} + av + bv^2$$

ou

$$\frac{Ri}{2} = \left(\frac{R}{4gm^2l} + b\right)v^2 + av \text{ (} l \text{ longueur du tuyau).}$$

Du reste, on voit que le premier terme du multiplicateur v^2 peut être négligé dans la presque totalité des cas.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Soit AM (pl. III. fig. 12), un réservoir dont la hauteur est H. Au bas de ce réservoir est placé un tuyau horizontal d'un diamètre constant, entièrement ouvert à son extrémité, et dont la longueur est L.

L'eau s'échappera de ce tuyau avec une vitesse v. La hauteur due à cette vitesse est $\frac{v^2}{2gm^2} = x$.

m est le coefficient de contraction de l'eau à son entrée dans le tuyau.

x est toujours inférieur à la hauteur H du réservoir, et la différence $H - x$ exprime évidemment la partie de la charge absorbée par les frottements.

Le tube étant d'un égal diamètre et parfaitement libre dans toute son étendue, la quantité $H - x$ se distribuera proportionnellement à cette étendue.

Si donc on prenait, à partir du point M, une hauteur égale à $\frac{v^2}{2gm^2}$ et qu'on joignit le point I, placé à cette distance du point M, avec l'extrémité de la conduite, la ligne IC serait telle, que toute perpendiculaire, abaissée d'un de ses points sur la direction de la conduite ou sur l'horizontale AC, représenterait le frottement que le fluide a encore à surmonter pour arriver en C avec la vitesse v.

Conséquemment, la différence entre deux perpendiculaires consécutives exprimerait le frottement contre les parois de la conduite, dans l'intervalle que les perpendiculaires comprennent [1].

On voit aussi que si l'on transformait ces différentes perpendiculaires en autant de tubes verticaux communiquant avec la conduite, l'eau s'élèverait dans ces tubes jusqu'à la limite tracée par la ligne inclinée IC.

La hauteur de l'eau dans chacun des tubes perpendiculaires représentera donc le frottement à vaincre dans le reste de la con-

[1] On démontrera plus tard que le frottement est indépendant de la pression.

duite. Cette hauteur sera en même temps l'expression de la charge que la paroi intérieure des tuyaux supporte, indépendamment de la pression atmosphérique.

De ces réflexions résulte la justification du moyen auquel j'ai eu recours pour déterminer les hauteurs absorbées par les résistances que l'eau rencontre en s'écoulant dans un tuyau. (Voir note 1.)

Des piézomètres indiquaient :

1° La hauteur de l'eau dans le réservoir alimentaire, piézomètre n° 5;

2° La hauteur qu'elle conservait:

1° A son entrée dans le tuyau, piézomètre n° 4[1];

2° A environ $4^m,70$ de ce dernier point, piézomètre n° 3[1];

3° A 50 mètres environ du point précédent, piézomètre n° 2;

4° A 50 mètres environ du point précédent, piézomètre n° 1.

La charge par 100 mètres était déduite de la comparaison des manomètres 1 et 3. On ne partait pas du piézomètre n° 4, afin que les mouvements oscillatoires du liquide qui doivent avoir lieu à l'origine eussent le temps de s'amortir.

Le manomètre 2 servait à reconnaître si les frottements se répartissaient également, et en même temps si les piézomètres remplissaient bien leurs fonctions. J'entrerai plus tard dans quelques explications à ce sujet.

Le manomètre 5, qui accusait la charge sur le réservoir, permettait de déterminer la hauteur nécessaire pour faire naître la vitesse moyenne du tuyau.

Les conduites ne versaient point leurs eaux à l'air libre, mais elles étaient ajustées à un cylindre vertical : les eaux de ce dernier s'écoulaient par un déversoir ou un orifice, suivant les circonstances.

On cotait exactement le niveau des eaux dans ce cylindre; on le comparait à celui du réservoir alimentaire, et l'on obtenait ainsi un moyen de vérifier la pente donnée par les manomètres

[1] Les manomètres 3 et 4, au moyen d'un jeu de robinets, donnaient successivement leurs indications dans le même tube vertical.

1 et 3, en tenant compte, bien entendu, de la hauteur due à *la* vitesse moyenne.

Je passe maintenant à la description des appareils, laquelle me fournira l'occasion de revenir avec détails sur plusieurs points de cet exposé succint.

J'ai entrepris les expériences sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite pendant que j'étais chargé de la direction du service des eaux de Paris. Elles ont été commencées le 31 août 1849 et n'ont été terminées que le 27 octobre 1851.

Tout se réunissait pour faciliter mes recherches.

D'une part, j'étais parfaitement secondé par un personnel habile et dévoué. Je citerai particulièrement MM. Regnier, contrôleur du service municipal, et Corot, ancien élève de l'École centrale. Ils ont bien voulu m'assister dans toutes mes expériences, avec un zèle et une sagacité qui ne se sont jamais démentis. Qu'il me soit permis de saisir cette occasion de les remercier encore, car, sans leur concours empressé, il m'eût été difficile de terminer ce long travail[1].

D'autre part, j'ai trouvé à Chaillot, lieu que j'avais choisi pour faire mes expériences, les plus grandes facilités naturelles : au nord, de vastes réservoirs alimentés par des pompes à feu; au sud, des bassins tout disposés pour le jaugeage du débit des conduites en expérience; à proximité, les ateliers de Chaillot qui permettaient de faire réparer immédiatement le moindre dérangement dans les appareils.

En A (pl. I, fig. 1), cuve en tôle de 400 mètres cubes de capacité, à la cote $28^{m},04$[2], alimentée par une conduite de 25 centimètres, qui part des pompes; en A' A'' A''' A⁴ (pl. I, fig. 2), quatre bassins à des niveaux différents, de 3,307 mètres cubes de capacité

[1] La presque totalité des calculs a été effectuée, avec une grande précision, par M. Guy, employé du service municipal; M. Laplanche m'a prêté aussi son concours dans l'origine.

[2] $47^{m},20$ au-dessus de l'étiage de la Seine au pont de la Tournelle; $73^{m},45$ au-dessus du niveau de la mer.

chacun, ensemble 13,228 mètres cubes aux cotes 42^{m},55, 43^{m},43, 44^{m},14 et 45^{m},53, pouvant être isolés ou mis en communication à volonté, alimentés par une conduite de 65 centimètres de diamètre; en R (fig. 3), robinet près des ateliers, sur la conduite de 65 centimètres, pour intercepter toute communication avec les machines; derrière le bâtiment des pompes, bassins de jauge n°s 1, 2, 3 et 4, munis d'une vanne de décharge V du côté du quai, pour l'écoulement de l'eau dans la Seine : telles étaient les ressources principales dont on pouvait disposer.

Viennent ensuite les appareils spéciaux aux expériences; la planche II en présente l'ensemble.

Afin de mettre le plus de clarté possible dans leur description, nous allons les suivre pas à pas, à partir de la prise d'eau sur les conduites des réservoirs jusqu'aux bassins de jauge, en indiquant succinctement leur destination.

Les prises d'eau se composaient :

1° Sur la conduite de 65 centimètres, d'un tuyau vertical DC (pl. III, fig. 1) avec tubulure de 30 centimètres disposée pour se raccorder avec un robinet vanne R de même diamètre; d'un tuyau en plomb DE de 41 millimètres de diamètre avec robinet de même diamètre R_1; d'une conduite FG de 14 millimètres de diamètre avec robinet R_2 de même diamètre;

2° Sur la conduite de 25 centimètres, d'un tuyau HE de 27 millimètres de diamètre avec robinet R_3 de même diamètre.

En R_4, petit robinet au point haut de la conduite en plomb pour laisser échapper l'air au besoin.

Lorsqu'on faisait usage des bassins de Chaillot, et qu'on n'avait besoin que de petits volumes, les robinets R, R_1, R_2 restaient fermés, le robinet R_3 fonctionnait seul; on l'ouvrait plus ou moins pour obtenir une charge convenable, suivant le diamètre de la conduite soumise aux expériences. Lorsque l'écoulement par ce robinet n'était plus suffisant, on le fermait et l'on se servait du robinet R_1, que l'on abandonnait ensuite pour recourir au robinet R. On passait ainsi par toutes les charges que pouvait donner

le quatrième bassin de Chaillot, maintenu à un niveau constant au moyen de l'eau contenue dans les trois autres bassins plus élevés.

Pour obtenir les charges les plus fortes, on se mettait en communication avec le réservoir circulaire en tôle en ouvrant le robinet R_1, par lequel passait l'eau de la conduite de 25 centimètres alimentée par la cuve A.

A la suite des prises d'eau on avait établi une conduite de 30 centimètres, perpendiculaire aux conduites de 65 et 25 centimètres, jusqu'au cylindre I (pl. III, fig. 2 et 2 *bis*).

Le cylindre I, de 1 mètre de diamètre, couché horizontalement, formait un réservoir intermédiaire destiné à amortir la vitesse de l'eau avant son entrée dans les conduites. Dans l'intérieur, au point J, était un diaphragme formé d'une plaque de tôle percée de trous. Le côté vertical du cylindre était fermé par une plaque en fonte dans laquelle on pratiquait des ouvertures circulaires de différents diamètres auxquelles aboutissaient les conduites en expérience. Un robinet R était placé au sommet pour l'échappement de l'air.

En r_1 était placé le robinet du cinquième manomètre, pour mesurer la charge de l'eau; à côté, mais sur la conduite en r_2, se trouvait le robinet du quatrième manomètre. La différence entre la hauteur de ces deux manomètres donnait la perte de charge due à la vitesse dans le tuyau. En r_3, robinet du troisième manomètre indiquant la charge de l'eau à l'origine de la portion de conduite à laquelle se rapportaient les expériences.

Afin de pouvoir comparer, sans possibilité d'erreur, les résultats accusés par les manomètres, on avait réuni ces appareils sur une même planche, au milieu du parcours des conduites, au moyen de tuyaux en plomb de 14 millimètres de diamètre, r_1 M, r_2 P'', P''N. Une seule conduite PN servait pour les deux manomètres n°s 3 et 4.

Le robinet r_2 étant fermé et le robinet r_3 ouvert, on avait la charge du troisième manomètre; le robinet r_3 fermé et le robinet r_2 ouvert, on obtenait la charge du quatrième manomètre.

Les expériences ont toujours été faites sur 100 mètres de longueur, excepté pour la conduite en verre et pour les conduites en plomb.

De distance en distance, des dés en maçonnerie supportaient les conduites. Ces dés avaient été établis de manière à donner aux tuyaux une pente uniforme dans le sens inverse de l'écoulement, et à faciliter ainsi le dégagement de l'air. Les tuyaux en plomb des manomètres reposaient sur des planches placées sur ces dés. Aux points de départ des manomètres 1, 2 et 3 étaient établis des petits réservoirs en fonte P, P', P'' (pl. III. fig. 2 *bis*, 3 et 7). Pour le manomètre n° 5, ce réservoir P''' était au pied de l'échelle des manomètres (fig. 3). A la partie supérieure de ces réservoirs, comme aux points les plus élevés des conduites des manomètres, on avait percé des trous fermés par des chevilles pour donner le moyen de faire dégager l'air qui aurait pu s'introduire et altérer les résultats.

Tous les piézomètres, comme on l'a déjà dit, étaient réunis en un même point. La planche III (fig. 3, 4 et 5), donne le détail de ces instruments; dans les uns la pression se mesurait au moyen de l'eau, et dans les autres avec du mercure.

1° Les manomètres à eau étaient employés pour toutes les charges qui ne dépassaient pas 6 mètres;

2° On recourait aux manomètres à mercure pour les charges supérieures à 6 mètres.

Tous ces manomètres étaient établis autour du poteau A contre lequel était placée une échelle verticale E pour les observations.

Les manomètres à eau étaient ajustés sur le parement de la planche qui faisait face aux conduites; les manomètres à mercure étaient disposés de l'autre côté.

Les premiers (pl. III, fig. 4) étaient appliqués sur la planche précitée, haute de plus de 6 mètres, dressée contre le poteau A et divisée en centimètres : ils se composaient de tubes en verre T_1, T_2, T_3, T_4, formés de deux morceaux réunis par des pièces en cuivre adaptées aux joints, et soudées avec de la gomme laque.

L'assemblage avec les tuyaux de plomb s'opérait de la même manière. Il fallait souvent refaire les joints en laque qui supportaient difficilement les variations de température : aussi étaient-ils l'objet d'une surveillance continuelle.

En r était placé le robinet du deuxième manomètre posé exactement à 50 mètres du troisième manomètre dont il a été question précédemment, et en P' le réservoir de ce deuxième manomètre.

Le tuyau C_1 (fig. 2 *bis* et fig. 3) amenait l'eau dans le tube T_1 avec la charge du réservoir; le tuyau C_2, qui se raccordait avec la conduite en expérience au moyen des robinets du quatrième et du troisième manomètre, servait à indiquer alternativement, dans le tube T_2, la charge existant à l'origine de la conduite immédiatement après l'introduction de l'eau, ou au robinet r_2 au moyen des manœuvres décrites plus haut. Le tube T_3 accusait la charge au milieu des 100 mètres, et enfin le tuyau C_3, qui amenait l'eau du premier manomètre, déterminait, dans le tube T_4 la charge à l'extrémité des 100 mètres. A première vue, le manomètre du milieu ne semblerait pas nécessaire, mais il a rendu de grands services pendant les expériences, en accusant des perturbations qui auraient vicié les expériences et dont on ne se serait pas aperçu si l'on n'avait pas eu ce piézomètre supplémentaire. En effet, pour être certain que tout fonctionnait convenablement, il fallait que les différences entre le premier et le deuxième, ainsi qu'entre le deuxième et le troisième manomètres, fussent à peu près égales. Je dis à peu près, parce que quelque variation dans le diamètre moyen de la conduite, en amont ou en aval, pouvait occasionner une légère différence, mais dans ce cas la différence devait toujours se produire dans le même sens pour toutes les charges. Lorsque ces conditions n'étaient pas remplies, on était obligé, ou de réparer des fuites, ou de faire différentes manœuvres pour purger d'air la conduite. Ces manœuvres consistaient à faire jouer toutes les chevilles des points hauts des conduites des manomètres; à fermer les robinets d'arrêt r_1, r_2, r_3, r_4 (fig. 4), pour empêcher

l'eau de monter dans les tubes qui renfermaient quelquefois de l'air logé entre deux colonnes d'eau ; à ouvrir les robinets d'écoulement placés au-dessus des robinets d'arrêt, pour vider l'eau contenue dans les tubes, et enfin à ouvrir brusquement les robinets d'arrêt après avoir fermé les autres.

Les manomètres à mercure étaient placés sur deux planches fixées derrière le poteau A. Des communications avec les manomètres à eau avaient été établies en FR_1, GR_1, HR_1, JR_1. Lorsque l'on opérait avec les manomètres à eau, les robinets R_1, R_1, R_1, R_1 restaient fermés. Lorsqu'on arrivait dans les hautes charges, on fermait les robinets r_2, r_3, r_4. Le robinet r_1 pouvait rester ouvert, parce que la charge au premier manomètre n'atteignait jamais 6 mètres. C'était un moyen de contrôler la hauteur donnée par le manomètre à mercure en R_1, en tenant compte de la différence du niveau des échelles.

Le zéro de l'échelle des manomètres à eau était à la cote 68^m,244
Celui des manomètres à mercure, à............ 68^m,204

Un manomètre à mercure se composait d'une branche en tuyau de plomb AB (pl. III, fig. 5) avec renflement en A, et de deux tubes en verre BC, CD; en E une poche en caoutchouc remplie de mercure, que l'on introduisait par la pression dans les deux tubes en verre. Cette poche servait aussi à recevoir le mercure lorsqu'on voulait décharger les manomètres. Souvent il fallait calculer approximativement la quantité de mercure à mettre dans les tubes. Si l'on en versait trop, il en sortait par l'extrémité D, et si l'on n'en mettait pas assez, tout s'échappait par cette extrémité à raison de la pression liquide. L'ouverture trop brusque d'un robinet produisait le même effet; quelquefois on a été obligé de verser le mercure par l'orifice D. Dans ce cas, comme il se logeait de l'air entre deux colonnes de mercure, on introduisait un fil de fer dans le tube pour faire sortir l'air. Dans la pièce en cuivre qui reliait en B le tuyau en plomb avec le tube en verre, on avait ménagé un tube en cuivre muni d'un robinet pour permettre l'introduction d'un fil de fer dans le tube en verre, afin de le purger

d'air au besoin. Cette pièce se raccordait avec le tuyau en plomb au moyen d'une soudure, et avec le tube en verre au moyen d'un joint en gomme laque. Dans la partie inférieure, les tubes en verre étaient mis en communication par la pièce en fer C, munie d'un robinet pour l'introduction du mercure, les joints étant aussi en laque. On a essayé de faire des joints en mastic de fontainier, ils n'ont pas pu supporter les fortes pressions. La gomme laque elle-même résistait difficilement aux charges élevées. Rarement on pouvait terminer une opération sans être obligé de réparer un ou plusieurs joints. C'était sur le manomètre R, qu'avait lieu la double expérience pour déterminer les charges des troisième et quatrième manomètres.

A l'extrémité de chaque conduite étaient placés des robinets R à vanne (pl. III, fig. 6 et 7) pour les conduites de $0^m,0795$ et au-dessus, et à boisseau pour les conduites d'un diamètre inférieur.

Enfin, comme complément des appareils manométriques, on avait placé contre le cylindre d'arrivée, dans lequel débouchaient les conduites, deux tubes en verre appliqués contre une planche graduée. L'un de ces tubes AB (pl. III, fig. 8) était piqué sur un tronçon de la conduite de 137 millimètres, et donnait la hauteur de l'eau dans le cylindre EF; l'autre CD, branché sur la conduite en expérience, donnait la charge de l'eau en mouvement dans cette conduite. Des robinets d'arrêt avaient été établis en A et en C pour fermer les manomètres au besoin. Cet appareil a fonctionné sur les conduites de $\left\{\begin{matrix}0,0795\\0,0801\end{matrix}\right\}$; 0,188; 0,196; $\left\{\begin{matrix}0,2432\\0,2447\end{matrix}\right\}$ et 0,50.

Avant d'être dirigée dans les bassins de jauge, l'eau, comme on le voit, était reçue soit dans le cylindre en fonte EF, soit dans le cylindre du même métal G_1H_1 (pl. III, fig. 6). L'un, de $1^m,615$ de diamètre et $3^m,33$ de hauteur, a servi pour les conduites de $0^m,0795$ et au-dessus; l'autre, de $0^m,319$ de diamètre et 2^m de hauteur, a été employé pour les expériences faites sur les conduites de $0^m,2477$ et au-dessous.

Une double communication avait été établie entre le cylindre EF et les bassins de jauge : l'une se composait d'un tuyau de 10 centimètres de diamètre, greffé en I, servait à mener l'eau dans le bassin de jauge KL, lors des expériences avec de faibles volumes; l'autre était formée d'une échancrure de 80 centimètres de largeur sur 30 centimètres de hauteur, faite au cylindre pour placer une buse en bois LMN (pl. III, fig. 9, et pl. II, fig 4), au moyen de laquelle l'eau se rendait dans les bassins.

L'orifice I avait été percé plus bas que le fond de la buse en L. Lorsque le bassin KL devenait insuffisant, on bouchait l'orifice I avec un tampon en bois, et l'eau montant dans le cylindre s'échappait par la buse.

L'eau qui arrivait au cylindre G_1H_1 était conduite aux bassins n°s 5, 6 et 7 (pl. III, fig. 6, 7 et 9) au moyen d'une conduite de 81 millimètres. Un coude mobile A (fig. 6) permettait de diriger à volonté les eaux dans l'un des trois bassins.

Sept bassins pouvaient être successivement employés pour le jaugeage des eaux débitées par les conduites.

Les bassins n°s 1, 2 et 3 (pl. II, fig. 1, 3 et 4) étaient limités par des murs existant dans la grande citerne située derrière le bâtiment des machines, et qui sert ordinairement à recevoir les eaux de condensation. C'était dans le bassin n° 1 que tombaient par la buse MN les eaux des expériences. Les dimensions de ces bassins ont été prises au niveau du radier, et au niveau du dessus des murs de séparation.

Le bassin n° 4[1] se composait de la partie supérieure de la citerne, depuis le niveau du sommet des murs de séparation précités jusqu'à $2^m,50$ au-dessus de ces murs.

Pour mesurer la hauteur de l'eau dans le bassin n° 1, un flotteur avait été établi en A. Cet appareil consistait en une bouteille vide bien bouchée et surmontée d'une tige cylindrique en bois, divisée en centimètres, se mouvant dans l'intérieur d'une boîte

[1] La superficie du bassin 4 était donc formée par la réunion des superficies des bassins 1, 2 et 3.

carrée qui descendait jusqu'au fond du bassin. A la partie supérieure de la boite avait été placée une bande en tôle percée d'un trou pour servir de coursier à la tige. Dans le bassin n° 1, on ne commençait ordinairement les expériences que lorsque l'eau était arrivée à quelques centimètres au-dessus du fond. Au signal donné, une épingle était piquée dans la tige immédiatement au-dessus de la bande en tôle; à un autre signal, à la fin de l'expérience, une autre épingle était placée au point de la tringle qui, dans l'ascension de cette dernière, était venu prendre la place du premier; en mesurant la distance entre ces deux épingles, on avait la hauteur d'eau versée dans le bassin pendant la durée de l'expérience. Un semblable flotteur avait été établi en B pour les bassins n°s 3 et 4.

Dans le bassin n° 3 on ne commençait que lorsqu'il y avait assez d'eau pour couvrir entièrement le radier. Pour ce bassin, comme pour le n° 1, on avait soin de prendre la hauteur de l'eau au-dessus du fond, afin de déterminer la section exacte à ce point. Quand on opérait dans le bassin n° 4, ce qui n'avait lieu que pour les conduites d'un gros diamètre et dans les hautes charges, on attendait que l'eau fût arrivée au niveau du dessus des murs des bassins n°s 1, 2 et 3; lorsque ces murs étaient couverts d'eau, on prenait exactement la hauteur de l'eau au-dessus des murs, toujours dans le but d'obtenir la superficie exacte de la section.

Pour mesurer la quantité d'eau perdue par infiltration ou par la vanne de décharge, on laissait, à la fin de chaque expérience, les bassins n°s 3 et 4 remplis pendant quelques minutes, on mesurait l'abaissement au moyen du flotteur, et l'on en concluait la perte par minute. Cet abaissement a presque toujours été insignifiant; on a cependant eu soin d'en tenir compte.

La forme des bassins ne correspondant pas à un rectangle parfait, à parois verticales, pour obtenir le cube de l'eau on prenait une moyenne entre la section inférieure et la section supérieure, et l'on multipliait cette moyenne par la hauteur observée.

L'eau du bassin n° 1 se vidait au moyen d'un conduit circulaire pratiqué dans l'épaisseur du mur de séparation. A la sortie de ce conduit, sur le bassin n° 3, était adapté un boyau en cuir d'une longueur égale à la hauteur de ce mur. Au signal donné pour le commencement de l'expérience, une personne relevait promptement ce boyau pendant qu'une autre observait la hauteur de l'eau.

Les eaux contenues dans les bassins n°s 3 et 4 s'écoulaient à la Seine par la vanne V (pl. II, fig. 3) existant contre la paroi sud de ces bassins. On levait et l'on baissait successivement cette vanne au moyen de la tige OP.

Le bassin n° 5 (pl. III, fig 9 et 10) était un cylindre en fonte AB de $0^{m},96$ de diamètre et $2^{m},72$ de hauteur. Une bonde de fond avait été placée en A pour vider le bassin après chaque expérience. On levait cette bonde au moyen du levier BCD, à l'extrémité duquel était attaché un fil de fer avec une poignée E pour la manœuvre.

A l'extérieur était un tube en verre d'un faible diamètre, en communication avec le cylindre. On dressait un double mètre contre ce tube, on mesurait la hauteur de l'eau dans le tube au commencement de l'expérience, on prenait ensuite la hauteur à la fin, et la différence entre les deux hauteurs donnait l'élévation de l'eau dans le cylindre pendant l'expérience. La section de ce bassin était de $0^{m},723823$.

Le bassin n° 6 était un autre cylindre en fonte GH (pl. III, fig. 7 et 9) de $0^{m},328$ de diamètre et $2^{m},50$ de hauteur, avec un tube de verre de $0^{m},004$ de diamètre pour mesurer la hauteur de l'eau. On vidait ce cylindre au moyen d'un orifice que l'on fermait avec un tampon en bois. La section du bassin n° 6, en tenant compte de celle du tube de verre, était de $0^{m},08451$.

Enfin, le bassin n° 7 était composé d'un tuyau en plomb RS de $0^{m},10$ de diamètre et de $2^{m},50$ de hauteur, avec un tube en verre de $0^{m},0045$ de diamètre pour mesurer la hauteur de l'eau. En R était adapté un robinet pour l'écoulement de l'eau. La

section de ce bassin, y compris celle du tube de verre, était de $0^m,00787$.

Dans la plupart des expériences, on a toujours opéré avec la charge absolue des bassins de Chaillot ou de la cuve. Pour faire varier la charge, à chaque expérience on rétrécissait la section du robinet de prise d'eau. Ces manœuvres étaient faciles pour les grosses conduites, mais elles présentaient des difficultés pour les conduites d'un faible diamètre. Pour les éviter, on a créé un nouvel appareil, au moyen duquel on formait des réservoirs, à niveau constant, pour chaque charge que l'on voulait soumettre aux expériences.

Cet appareil (pl. III, fig. 11 et 11 *bis*) consistait en une colonne en fonte AB composée de tuyaux de $0^m,25$ à joints à brides; un tuyau en plomb de $0^m,014$ de diamètre portait en B l'eau qui alimentait le réservoir pendant les expériences. Un robinet *r* servait à intercepter toute communication, ou à modérer l'écoulement de manière à ne donner que la quantité d'eau nécessaire. On réglait aussi quelquefois l'écoulement au moyen d'un robinet R qui servait en même temps à purger d'air le grand cylindre. Lorsque ce robinet était ouvert, le trop-plein se répandait dans le jardin par un tuyau en plomb RD de $0^m,027$ (fig. 2 et 11). A une tubulure située au bas de la colonne on avait soudé un tuyau en plomb CE de $0^m,027$ de diamètre, sur toute la longueur duquel avaient été greffées des tubulures F, G, H, etc. bouchées avec des tampons en bois. Une échelle était dressée contre la colonne AB pour la manœuvre des tampons. Quand on voulait opérer avec la plus faible charge, on enlevait le tampon F, et au moyen du robinet *r* on réglait l'arrivée de l'eau en B, de manière à ne laisser échapper qu'une faible quantité d'eau par l'orifice F; on avait ainsi un réservoir à niveau constant en F. Pour passer à une charge plus forte, on enlevait un des tampons supérieurs, H par exemple, et l'on bouchait tous les tampons inférieurs. La charge la plus forte s'obtenait en tenant tous les tampons fermés, et en laissant déborder l'eau par le haut de la colonne AB.

Les expériences avec cet appareil n'ont eu lieu que sur les conduites en fer étiré de $0^m,0122$ et $0^m,0266$ de diamètre. Un robinet d'arrêt *r*, avait été établi à l'origine du tuyau en expérience. En C était placé le tuyau du cinquième manomètre; en J et en K les tuyaux des quatrième et troisième manomètres qui fonctionnaient de la même manière que pour les autres conduites avec la charge des bassins.

Enfin, un dernier appareil avait été placé dans la cour des machines pour les expériences sur les conduites en plomb et en verre. C'était le réservoir à niveau constant que nous venons de décrire, transporté sur un autre point avec de légères modifications.

On avait amené le cylindre de 1 mètre de diamètre derrière le magasin des métaux, on l'avait placé verticalement sur la calotte (pl. III, fig. 12), et sur ce cylindre on avait rapporté une partie des tuyaux de $0^m,25$ avec le tuyau en plomb garni de tubulures pour créer à volonté des réservoirs à différents niveaux. En R était placé un robinet pour intercepter au besoin la communication entre le cylindre et le tuyau RF; en R, existait un autre robinet sur la conduite destinée à faire connaître exactement la hauteur de l'eau dans le cylindre ou la charge.

La prise d'eau établie sur la conduite des bassins amenait l'eau au réservoir par un tuyau en plomb GH de $0^m,041$ de diamètre. Un robinet G servait à régler l'écoulement.

Les conduites soumises aux expériences étaient greffées en K sur une tubulure située au-devant du cylindre. Un robinet avait été placé en E pour arrêter l'écoulement quand on le jugeait nécessaire. Les conduites placées sur des dés en briques longeaient le mur ouest et aboutissaient, vers la clôture, du côté du quai de Billy, à un cylindre précédemment décrit, et qui avait servi aux expériences sur les conduites de petits diamètres.

Pour les conduites en plomb, les manomètres ayant été placés à 25 mètres de distance l'un de l'autre, on opérait sur une longueur de 50 mètres.

Pour la conduite en verre, il a fallu placer les manomètres à des joints de tuyaux; aussi ces manomètres ne se trouvaient pas également espacés : entre les deux manomètres d'amont, il y avait 23^{m},29, et entre ceux d'aval 21^{m},57; on opérait sur 44^{m},86.

La planche graduée des manomètres à eau avait été transportée contre la face ouest du bâtiment des machines; des barres de fer scellées dans le mur remplaçaient l'échelle qui servait à observer la hauteur de l'eau dans les manomètres.

La disposition des robinets des manomètres était la même que pour les autres conduites.

Enfin, dans ces dernières expériences, on s'est servi des bassins de jauge n°s 5, 6 et 7.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Les conduites soumises aux expériences ont toutes été posées avec un soin particulier sur une pente en sens inverse de l'écoulement de l'eau. On enfonçait le cordon jusqu'à l'extrémité de l'emboitement, afin d'avoir des joints très-peu sensibles à l'intérieur.

Avant de commencer les expériences, on a toujours essayé les conduites en les mettant en charge, et la moindre fuite, le plus petit suintement ont été immédiatement réparés.

Après la pose de la conduite, on s'occupait de l'établissement des manomètres. L'emplacement des manomètres 1, 2 et 3 était déterminé avec soin. Après avoir placé le manomètre 2 près du poteau des manomètres, à un point convenable pour ne pas gèner la manœuvre, on mesurait 50 mètres en amont et 50 mètres en aval pour fixer la position des deux autres, 1 et 3. Le mesurage se faisait avec une règle de fer de 5 mètres de longueur, et à l'aide d'équerres et de pointes à tracer.

Sur les tuyaux en fonte de 0^{m},0801 et au-dessus, les robinets des manomètres vissés dans l'épaisseur de la fonte ont été limés circulairement en dessous pour leur donner la courbure du tuyau, et l'épaisseur du pas de vis a été exactement calculée pour affleurer la paroi intérieure : cette condition était indispensable.

Sur les tuyaux au-dessous de $0^m,0801$, et sur ceux en tôle et bitume, les robinets des manomètres ont été soudés au-dessus d'un trou de 2 à 3 millimètres de diamètre.

Des robinets ou des orifices placés aux points hauts des conduites des manomètres permettaient de faire échapper l'air qui se logeait dans ces points hauts. Les orifices étaient bouchés avec des chevilles en bois.

Les conduites, les robinets, les joints, les chevilles des manomètres ont été l'objet d'une surveillance incessante : souvent on a recommencé des expériences parce qu'à la fin on découvrait une fuite presque insignifiante sur un point quelconque de ces appareils.

Avant de commencer les expériences sur une conduite, on essayait les manomètres; pour cela on mettait la conduite en charge, on enlevait les chevilles, et on ouvrait les robinets des manomètres. On éprouvait toujours beaucoup de difficulté, dans la première expérience, à chasser l'air contenu dans les conduites des manomètres; il fallait souvent laisser couler l'eau longtemps avec la plus forte charge possible. Dans les expériences sur la conduite de $0^m,0122$, des manœuvres faites pendant une journée entière n'ont donné aucun résultat satisfaisant; il a fallu renoncer ce jour-là aux expériences. On a laissé couler l'eau toute la nuit, et le lendemain les manomètres fonctionnaient convenablement.

Pour s'assurer que les manomètres étaient purgés d'air, on comparait les différences de hauteurs entre le premier et le deuxième manomètre, et entre le deuxième et le troisième. Ces deux différences auraient dû être toujours égales, si les diamètres moyens des deux parties de la conduite avaient été parfaitement égaux; mais comme cette condition ne pouvait jamais être remplie, on s'arrêtait lorsqu'on avait obtenu deux nombres qui différaient peu l'un de l'autre, et l'on avait recours à une deuxième vérification qui consistait à mettre l'eau au repos; s'il n'y avait plus d'air, les manomètres devaient se trouver exactement de niveau.

Lorsqu'il en était ainsi, on commençait les expériences. Presque toutes ont été faites en partant des faibles charges. Lorsqu'on avait

la charge que l'on voulait, on plaçait des épingles pour marquer les hauteurs des manomètres, et on laissait couler l'eau pendant un temps assez long pour lui permettre de prendre son régime normal. Lorsque les manomètres restaient fixes, la condition étant remplie, on procédait au jaugeage du débit de la conduite.

Une personne [1], et autant que possible la même, a été chargée de relever les hauteurs des manomètres. Pour les expériences avec de faibles charges, on s'astreignait à rester sur l'échelle pendant toute la durée de l'expérience, afin d'avoir les yeux constamment fixés sur les manomètres. Si l'on remarquait un changement assez notable dans les hauteurs, ou une oscillation d'une amplitude extraordinaire, on recommençait l'expérience.

De plus, la personne chargée d'observer les hauteurs visitait scrupuleusement la conduite, les manomètres et les autres appareils pour s'assurer que tout fonctionnait convenablement.

Les expériences dans les hautes charges ont donné beaucoup de peine, parce qu'il fallait avoir recours aux manomètres à mercure. Jamais on n'a pu faire deux expériences consécutives sans refaire un joint; souvent même on a été obligé de les réparer plusieurs fois dans le cours d'une même expérience.

Pour avoir une vérification des calculs que nécessitait l'usage des manomètres à mercure, on laissait ouverts les manomètres ordinaires qui pouvaient accuser des hauteurs, c'est-à-dire le deuxième quelquefois, mais toujours le premier. On avait ainsi des hauteurs d'eau que l'on comparait avec les hauteurs correspondantes données par les manomètres à mercure.

On apportait aussi une très-grande attention au jaugeage du débit des conduites. On s'est presque toujours servi de la même montre à secondes; si la manœuvre n'était pas faite avec assez de précision, soit au commencement, soit à la fin, si la plus légère perte était remarquée, on recommençait l'expérience.

Le mesurage des diamètres moyens des conduites a été également l'objet de précautions toutes particulières.

[1] M. Regnier.

Ces précautions sont indiquées dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III.

RÉSULTAT DES EXPÉRIENCES.

Nous donnerons maintenant les résultats des expériences faites au moyen des vingt-deux tuyaux de conduite dont l'état, la nature et le diamètre ont été précédemment indiqués.

Nous croyons toutefois devoir faire précéder ces tableaux de la description des moyens adoptés pour la détermination des diamètres.

On se rappelle que vingt-deux tuyaux ont été soumis aux épreuves, savoir :

NUMÉROS D'ORDRE.	DIAMÈTRES.		NATURE DES TUYAUX.	OBSERVATIONS.
	mèt.			
1	0,0122			
2	0,0266	3	Fer étiré.	
3	0,0395			
4	0,014			
5	0,027	3	Plomb.	
6	0,041			
7	0,0268			
8	0,0526	4	Tôle et bitume.	
9	0,196			
10	0,285			
11	0,04968	1	Verre	
12	0,0359			
13	0,0364			
14	0,0795			
15	0,0801			
16	0,0819			
17	0,137	11	Fonte.	
18	0,188			
19	0,2432			
20	0,2447			
21	0,297			
22	0,50			
		22		

Les diamètres des conduites n°s 1, 2 et 3 ont été évalués au moyen du volume d'eau qu'elles pouvaient contenir. Ce volume était tiré d'un réservoir d'une section bien déterminée placé dans les combles de la machine à feu de Chaillot, et sous lequel les tuyaux étaient verticalement disposés par fractions de longueur qui s'élevaient jusqu'à 10.

A chaque opération on tenait compte de l'abaissement observé dans le réservoir, et le produit de la somme de ces abaissements successifs par la section du réservoir donnait un cube qui, divisé par la longueur totale des conduites soumises à l'expérience, permettait d'obtenir la section moyenne et, par suite, le diamètre moyen du tuyau.

Les conduites n°s 4, 5 et 6 en plomb refoulé avaient un diamètre parfaitement bien déterminé.

Les conduites n°s 7 et 8 en tôle et bitume et n° 11 en verre ont été soumises au premier procédé décrit.

Lorsque le diamètre de certaines conduites était trop considérable pour que l'on pût recourir aisément à ce procédé, ou lorsqu'il s'agissait de tuyaux recouverts de dépôts, on mesurait les diamètres au moyen de la capacité totale des conduites, ces dernières étant en place.

On a opéré de cette manière pour la conduite en bitume n° 9, et pour les conduites en fonte n°s 12, 13, 14, 15, 19 et 20.

Voici comment on exécutait ce mesurage :

1° On faisait démonter le tuyau extrême, c'est-à-dire le tuyau contigu au réservoir alimentaire placé en tête de la conduite, et vers lequel était dirigée la pente; l'eau s'écoulait donc tout entière.

Pendant cette première opération on tenait fermé le robinet-vanne placé à l'autre extrémité de la conduite, en aval du cylindre vertical situé vers les bassins de jauge : ce cylindre verticalement établi était préalablement rempli d'eau.

2° On tamponnait ensuite l'extrémité amont[1] de la conduite, en ayant soin d'adapter à ce tampon un tuyau recourbé avec robinet

[1] Côté du réservoir alimentaire.

à l'extrémité pour permettre à l'air de s'échapper pendant le remplissage qui s'opérait, au moyen du cylindre vertical, par l'ouverture du robinet-vanne.

Inutile de dire que l'on avait soin de noter exactement la hauteur de l'eau dans ce dernier cylindre.

Un robinet, toujours pour faciliter l'échappement de l'air, était placé au milieu de la conduite.

3° Le robinet-vanne de l'origine était ouvert; deux observateurs placés au milieu et à l'extrémité de la conduite, côté du tampon, fermaient les robinets à air aussitôt que l'eau paraissait.

On descendait alors également le robinet-vanne, et de l'abaissement de l'eau dans le cylindre vertical on déduisait la capacité de la conduite et par suite son diamètre moyen.

Les diamètres des conduites n°s 10, 16, 17, 18, 21, 22 ont été obtenus à l'aide de mesures directes.

C'est par cette succession de procédés que l'on est arrivé avec la plus grande précision à la détermination des diamètres indiqués au commencement de ce chapitre.

Les tableaux suivants présentent le détail des opérations exécutées.

NUMÉROS D'ORDRE.	NIVEAU DE L'EAU dans LE BASSIN DE JAUGE. Au commencement du remplissage.	A la fin du remplissage.	DIFFÉRENCE.	LONGUEUR des tuyaux.

CONDUITE DE 0m,0122 (N° 1).

SUPERFICIE DU BASSIN DE JAUGE = 0m,00787.

	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	0,000	0,149	0,149	10,686
2	0,149	0,314	0,155	10,550
3	0,314	0,464	0,150	10,505
4	0,464	0,630	0,166	10,917
5	0,630	0,789	0,159	10,635
6	0,789	0,954	0,165	11,024
7	0,954	1,120	0,166	10,730
8	1,120	1,264	0,144	10,657
9	1,264	1,440	0,176	11,060
10	1,440	1,603	0,163	10,708
Totaux........			1,603	107,472

La section du tuyau $= \dfrac{1,603 \times 0,00787}{107,472} = 0,000,117$, laquelle correspond à un diamètre de 0m,0122.

CONDUITE DE 0m.0266 (N° 2).

SUPERFICIE DU BASSIN DE JAUGE = 0m,00787.

1	2,400	1,690	0,710	9,914
2	1,690	0,975	0,715	10,295
3	0,975	0,281	0,694	9,812
4	2,400	1,686	0,714	9,933
5	1,686	1,038	0,648	9,290
6	1,038	0,305	0,733	10,468
7	2,400	1,692	0,708	9,956
8	1,692	0,998	0,694	9,845
9	0,998	0,320	0,678	9,900
10	1,250	0,559	0,691	9,408
Totaux........			6,985	98,821

La section du tuyau $= \dfrac{6,985 \times 0,00787}{98,821} = 0,000,556$, laquelle correspond à un diamètre de 0m,0266.

CONDUITE DE 0m,0395 (N° 3).

SUPERFICIE DU BASSIN DE JAUGE = 0m,00787.

	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1 et 3	1,270	0,565	0,705	3,037
2	0,810	0,220	0,590	3,835
4	2,020	1,413	0,607	3,822
5	1,443	0,840	0,603	3,866
8	1,438	0,832	0,606	3,827
7	0,840	0,260	0,580	3,790
8	2,057	1,438	0,619	3,699
9	0,851	0,267	0,584	3,887
10	1,413	0,810	0,603	3,755
11	1,416	0,797	0,619	3,799
12	0,832	0,230	0,602	3,824
13	2,027	1,429	0,598	3,573
14	2,048	1,443	0,605	3,862
15	1,980	0,390	0,590	3,865
16	1,420	0,810	0,610	3,830
17	1,429	0,851	0,578	3,944
18	1,390	0,817	0,573	3,790
19	2,025	1,410	0,615	3,827
20	0,817	0,207	0,610	3,831
21	2,170	1,551	0,619	3,857
22	2,008	1,416	0,592	3,892
23	0,797	0,250	0,547	3,668
24	1,551	0,933	0,618	3,808
25	0,810	0,210	0,600	3,707
26	2,022	1,420	0,602	3,706
27	0,933	0,340	0,593	3,869
28	1,410	0,838	0,572	3,878
29	0,838	0,220	0,618	3,823
Totaux........			16,858	107,991

La sect. du tuyau $= \dfrac{16,858 \times 0,00757}{107,991} = 0,001,2285$, laquelle correspond à un diamètre de 0m,0395.

CONDUITES Nos 4, 5, 6 (0m,014; 0m,027; 0m,041).

Les tuyaux composant ces conduites étant en plomb refoulé, ne pouvaient donner lieu à aucune incertitude sur l'uniformité de leur diamètre. Ils n'ont donc été soumis à aucun procédé particulier de mesurage.

CONDUITE DE 0m,0268 (N° 7).

SUPERFICIE DU BASSIN DE JAUGE = 0m,00787.

NUMÉROS D'ORDRE.	NIVEAU DE L'EAU dans LE BASSIN DE JAUGE. Au commencement du remplissage.	A la fin du remplissage.	DIFFÉRENCE.	LONGUEUR des tuyaux.
	mét.	mét	mét.	mét.
1	2,460	2,251	0,209	2,790
2	2,251	2,060	0,191	2,783
3	2,060	1,861	0,199	2,764
4	1,861	1,671	0,190	2,787
5	1,671	1,460	0,211	2,787
6	1,460	1,270	0,190	2,776
7	1,270	1,055	0,215	2,796
8	1,055	1,865	0,190	2,796
9	0,865	0,668	0,197	2,768
10	0,668	0,472	0,196	2,785
11	2,460	2,243	0,217	2,792
12	2,243	2,051	0,192	2,795
13	2,051	1,818	0,233	2,795
14	1,818	1,600	0,218	2,770
15	1,600	1,407	0,193	2,791
16	1,407	1,175	0,232	2,790
17	1,175	0,987	0,188	2,790
18	0,987	0,787	0,200	2,785
19	0,787	0,603	0,184	2,788
20	0,603	0,415	0,188	2,790
21	2,460	2,263	0,197	2,780
22	2,263	2,055	0,208	2,797
23	2,055	1,873	0,182	2,771
24	1,873	1,671	0,202	2,768
25	1,671	1,470	0,201	2,796
26	1,470	1,271	0,199	2,790
27	1,271	1,075	0,196	2,776
28	1,075	0,880	0,195	2,799
29	0,880	0,686	0,194	2,790
30	0,686	0,470	0,216	2,798
31	2,082	1,892	0,190	2,765
32	1,892	1,702	0,190	2,779
33	1,702	1,498	0,204	2,785
34	1,498	1,300	0,198	2,799
35	1,300	1,114	0,186	2,775
36	1,114	0,902	0,212	2,795
37	0,902	0,706	0,196	2,787
	Totaux........		7,399	103,126

Le sect. du tuyau $= \frac{7,399 \times 0,00787}{103,126} = 0,00056465$, laquelle correspond à un diamètre de 0m,0268.

CONDUITE DE 0m,0826 (N° 8).

SUPERFICIE DU BASSIN DE JAUGE = 0m,08451.

NUMÉROS D'ORDRE.	NIVEAU DE L'EAU dans LE BASSIN DE JAUGE. Au commencement du remplissage.	A la fin du remplissage.	DIFFÉRENCE.	LONGUEUR des tuyaux.
	mét.	mét	mét.	mét.
1	0,200	0,382	0,182	2,893
2	0,382	0,563	0,181	2,888
3	0,563	0,746	0,183	2,894
4	0,747	0,933	0,187	2,893
5	0,933	1,113	0,180	2,903
6	1,113	1,296	0,183	2,890
7	1,296	1,479	0,183	2,891
8	1,479	1,665	0,186	2,904
9	1,665	1,852	0,187	2,907
10	1,852	2,045	0,193	2,893
11	0,197	0,388	0,191	2,903
12	0,388	0,568	0,180	2,890
13	0,568	0,747	0,179	2,886
14	0,747	0,928	0,181	2,906
15	0,928	1,110	0,182	2,893
16	1,110	1,293	0,183	2,902
17	1,293	1,476	0,183	2,894
18	1,476	1,665	0,189	2,893
19	1,665	1,844	0,179	2,896
20	1,844	2,030	0,186	2,887
21	0,241	0,420	0,179	2,890
22	0,420	0,601	0,181	2,907
23	0,601	0,788	0,187	2,896
24	0,788	0,969	0,181	2,890
25	0,969	1,157	0,188	2,898
26	1,157	1,345	0,188	2,899
27	1,345	1,523	0,178	2,901
28	1,523	1,698	0,175	2,890
29	1,698	1,880	0,182	2,902
30	1,880	2,065	0,185	2,898
31	0,275	0,457	0,182	2,902
32	0,457	0,644	0,187	2,902
33	0,644	0,824	0,180	2,900
34	0,824	1,011	0,187	2,895
35	1,011	1,200	0,189	2,896
36	1,200	1,385	0,185	2,893
37	1,385	1,570	0,185	2,910
	Totaux........		6,797	107,181

La section du tuyau $= \frac{6,797 \times 0,08451}{107,181} = 0,0053593$, laquelle correspond à un diamètre de 0m,0826.

CONDUITE DE 0m,196 (N° 9).

Pour déterminer le diamètre moyen de cette conduite, on a cherché quelle était sa capacité totale, en la remplissant à l'aide du cylindre en fonte auquel son extrémité d'amont était ajustée, et dont elle était séparée par un robinet-vanne.

On est ainsi arrivé au résultat suivant :

Longueur de la conduite remplie d'eau........................ 107m,692
Abaissement du niveau de l'eau dans le cylindre, à partir de la levée du robinet-vanne jusqu'à la fin du remplissage.......... 1 ,587
Le diamètre du cylindre étant de.......... 1m,615
Et sa section de........................ 2 ,0485

La section du tuyau était de $\frac{2,0485 \times 1,587}{107,692} = 0,0319$, laquelle correspond à un diamètre de 0m,196.

NUMÉROS D'ORDRE	NIVEAU DE L'EAU dans LE BASSIN DE JAUGE. Au commencement du remplissage.	A la fin du remplissage.	DIFFÉRENCE.	LONGUEUR des tuyaux.	CAPACITÉ des TUYAUX.	DIAMÈTRE OBTENU AU MOYEN DE LA CONTENANCE.	DIAMÈTRES. AMONT.	AVAL.	MOYEN.
CONDUITE EN VERRE DE 0m,04968 (N° 11).									
SUPERFICIE DU BASSIN DE JAUGE = 0m,00787.									
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	1,922	1,662	0,260	1,163	0,002,046,20	0,0473	0,0460	0,0470	0,04650
2 et 3	1,662	1,092	0,570	2,300	0,004,485,90	0,0498	0,0520	0,0485	0,05025
4 et 5	1,092	0,460	0,632	2,322	0,004,973,84	0,0522	0,0525	0,0530	0,05275
6 et 7	1,964	1,460	0,504	2,323	0,003,966,48	0,0466	0,0475	0,0465	0,04700
8 et 9	1,460	0,833	0,627	2,310	0,004,934,49	0,0521	0,0450	0,0490	0,04700
10	0,833	0,544	0,289	1,160	0,002,274,43	0,0500	0,0495	0,0450	0,04725
11 et 12	1,934	1,286	0,648	2,335	0,005,099,76	0,0527	0,0450	0,0520	0,04850
13 et 14	1,998	1,459	0,539	2,330	0,004,241,93	0,0482	0,0440	0,0470	0,04550
15 et 16	1,459	0,896	0,563	2,323	0,004,430,81	0,0493	0,0500	0,0530	0,05150
17 et 18	0,896	0,270	0,626	2,320	0,004,926,62	0,0520	0,0530	0,0480	0,05050
19 et 20	1,974	1,438	0,536	2,313	0,004,218,32	0,0482	0,0485	0,0500	0,04925
21 et 22	1,438	0,855	0,583	2,390	0,004,588,21	0,0494	0,0485	0,0490	0,04875
23 et 24	0,855	0,285	0,570	2,322	0,004,485,90	0,0496	0,0480	0,0525	0,05025
25 et 26	2,000	1,401	0,599	2,320	0,004,714,13	0,0509	0,0530	0,0490	0,05100
27 et 28	1,401	0,853	0,548	2,318	0,004,312,76	0,0487	0,0470	0,0480	0,04750
29 et 30	0,853	0,290	0,563	2,320	0,004,430,81	0,0493	0,0530	0,0520	0,05250
31 et 32	1,865	1,301	0,564	2,310	0,004,438,68	0,0495	0,0490	0,0475	0,04825
33 et 34	1,301	0,746	0,555	2,320	0,004,367,85	0,0490	0,0480	0,0475	0,04775
35 et 36	0,746	0,223	0,523	2,325	0,004,110,01	0,0475	0,0475	0,0505	0,04900
37 et 38	1,921	1,350	0,571	2,321	0,004,493,77	0,0497	0,0500	0,0520	0,05100
39 et 40	1,350	0,789	0,561	2,312	0,004,415,07	0,0493	0,0525	0,0460	0,04925
41 et 42	0,789	0,139	0,650	2,425	0,005,115,50	0,0518	0,0530	0,0495	0,05125
		TOTAUX........	12,081	48,882	0,095,077,47	1,0931	1,0825	1,0825	1,08250
La sect. du tuyau = $\frac{12,081 \times 0,00787}{48,882} = 0,00194504$, laquelle correspond à un diamètre de 0m,0498.					Divisant par 48,882 on a 0,0498	Divisant par 22 on a 0,04968	Divisant par 22 on a 0,0492		

Cette conduite présentait dans ses éléments des irrégularités telles qu'il m'a paru convenable, pour les bien signaler, de présenter le volume de chaque groupe binaire de tuyaux, ainsi que le diamètre moyen de chacun de ces groupes.

J'ai cru de plus qu'il était nécessaire de présenter les résultats que donnaient les mesures directes pour faire apprécier la conicité des tuyaux.

Le tableau qui précède indique les résultats cherchés.

CONDUITE DE 0^m,0359 (N° 12).
———————— 0^m,0364 (N° 13). N° 12 nettoyé.
———————— 0^m,0795 (N° 14).
———————— 0^m,0801 (N° 15). N° 14 nettoyé.
———————— 0^m,2432 (N° 19).
———————— 0^m,2447 (N° 20). N° 19 nettoyé.

On a employé pour déterminer le diamètre moyen de ces six conduites le procédé auquel on a eu recours pour obtenir la section de la conduite en tôle et bitume (N° 9).

Les éléments des calculs ont été réunis dans le tableau synoptique ci-après :

NUMÉROS DES TUYAUX.	LONGUEUR remplie.	CYLINDRE DE JAUGE			SECTION DES TUYAUX	DIAMÈTRES cherchés
		ABAISSEMENT de l'eau dans ce cylindre.	DIAMÈTRE.	SECTION		
	mét.	mét.	mét.	mét.		mét.
12	108,862	1,38	0,319	0,0799	$\frac{0,0799 \times 1,38}{108,862} = 0,001,013$	0,0359
13	108,862	1,42	0,319	0,0799	$\frac{0,0799 \times 1,42}{108,862} = 0,001,042$	0,0364
14	109,450	0,265	1,615	2,0485	$\frac{2,0485 \times 0,265}{109,450} = 0,004,96$	0,0795
15	109,450	0,269	1,615	2,0485	$\frac{2,0485 \times 0,269}{109,450} = 0,005,035$	0,0801
19	108,186	2,454	1,615	2,0485	$\frac{2,0485 \times 2,454}{108,186} = 0,046,466$	0,2432
20	108,186	2,484	1,615	2,0485	$\frac{2,0485 \times 2,484}{108,186} = 0,047$	0,2447

Les diamètres moyens des conduites N° 10 (0^m,285).
———————————— N° 16 (0^m,0819).
———————————— N° 17 (0^m,137).
———————————— N° 18 (0^m,188).
———————————— N° 21 (0^m,297).
———————————— N° 22 (0^m,50).

ont été obtenus au moyen de mesures directes : on déterminait, à l'aide d'un compas à pointes recourbées, deux diamètres rectangulaires à chaque extrémité des tuyaux.

On est arrivé ainsi aux résultats suivants :

CONDUITE N° 10.

NUMÉROS d'ordre.	DIAMÈTRES. À UN BOUT. Maximum.	Minimum.	À L'AUTRE BOUT. Maximum.	Minimum.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	0,278	0,275	0,277	0,277
2	0,294	0,293	0,280	0,279
3	0,294	0,293	0,279	0,276
4	0,291	0,290	0,280	0,280
5	0,293	0,289	0,280	0,279
6	0,294	0,292	0,283	0,276
7	0,292	0,290	0,283	0,277
8	0,293	0,291	0,280	0,279
9	0,295	0,291	0,279	0,277
10	0,293	0,293	0,281	0,277
11	0,292	0,291	0,278	0,274
12	0,291	0,289	0,279	0,277
13	0,291	0,288	0,278	0,273
14	0,291	0,289	0,279	0,277
15	0,292	0,289	0,278	0,277
16	0,293	0,289	0,280	0,276
17	0,290	0,289	0,277	0,272
18	0,292	0,285	0,279	0,273
19	0,291	0,290	0,280	0,280
20	0,292	0,291	0,281	0,278
21	0,292	0,290	0,282	0,279
22	0,292	0,287	0,282	0,280
23	0,290	0,287	0,282	0,279
24	0,296	0,293	0,280	0,277
25	0,294	0,291	0,283	0,278
26	0,294	0,292	0,282	0,277
27	0,292	0,292	0,279	0,279
28	0,292	0,292	0,276	0,272
29	0,292	0,290	0,283	0,280
30	0,292	0,292	0,281	0,278
31	0,292	0,292	0,282	0,278
32	0,296	0,294	0,285	0,280
33	0,295	0,292	0,280	0,280
34	0,295	0,292	0,282	0,276
35	0,290	0,286	0,282	0,280
36	0,296	0,294	0,281	0,280
37	0,292	0,291	0,279	0,276
38	0,292	0,289	0,279	0,275
39	0,294	0,292	0,278	0,276
40	0,293	0,290	0,282	0,280
41	0,292	0,291	0,292	0,287
	11,985	11,899	11,503	11,381

TOTAL GÉNÉRAL.. 46,768,

lequel divisé par 164 donne pour diamètre moyen 0m,285.

CONDUITE N° 16.

NUMÉROS d'ordre.	DIAMÈTRES À UN BOUT.	À L'AUTRE BOUT.
	mèt.	mèt.
1	0,081	0,081
2	0,082	0,082
3	0,082	0,081
4	0,084	0,081
5	0,081	0,081
6	0,082	0,081
7	0,083	0,081
8	0,084	0,081
9	0,084	0,080
10	0,084	0,079
11	0,085	0,082
12	0,085	0,080
13	0,085	0,080
14	0,082	0,080
15	0,084	0,079
16	0,084	0,080
17	0,081	0,080
18	0,083	0,080
19	0,085	0,081
20	0,084	0,079
21	0,082	0,081
22	0,081	0,082
23	0,082	0,080
24	0,085	0,081
25	0,083	0,080
26	0,084	0,079
27	0,082	0,082
28	0,084	0,080
29	0,084	0,079
30	0,085	0,080
31	0,085	0,079
32	0,085	0,080
33	0,084	0,081
34	0,084	0,081
35	0,085	0,080
36	0,084	0,079
37	0,084	0,080
38	0,084	0,080
39	0,082	0,078
40	0,084	0,080
41	0,085	0,080
42	0,084	0,080
43	0,084	0,079
44	0,084	0,081
	3,676	3,531

TOTAL GÉNÉRAL.. 7,207,

lequel divisé par 88 donne pour le diamètre moyen 0m,0819.

CONDUITE N° 17.

NUMÉROS D'ORDRE.	DIAMÈTRES. À UN BOUT. Maximum.	À UN BOUT. Minimum.	À L'AUTRE BOUT. Maximum.	À L'AUTRE BOUT. Minimum.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	0,134	0,133	0,135	0,134
2	0,137	0,136	0,140	0,138
3	0,136	0,136	0,140	0,138
4	0,138	0,137	0,138	0,137
5	0,136	0,135	0,138	0,136
6	0,137	0,137	0,138	0,138
7	0,140	0,139	0,139	0,138
8	0,138	0,138	0,139	0,139
9	0,137	0,137	0,140	0,138
10	0,139	0,138	0,140	0,139
11	0,135	0,135	0,141	0,138
12	0,138	0,136	0,139	0,137
13	0,138	0,138	0,137	0,137
14	0,137	0,137	0,139	0,138
15	0,136	0,135	0,137	0,136
16	0,136	0,136	0,138	0,138
17	0,136	0,135	0,137	0,138
18	0,137	0,137	0,139	0,138
19	0,136	0,134	0,137	0,138
20	0,138	0,137	0,138	0,138
21	0,137	0,135	0,136	0,136
22	0,138	0,137	0,138	0,137
23	0,138	0,137	0,138	0,137
24	0,137	0,137	0,138	0,138
25	0,137	0,136	0,138	0,137
26	0,137	0,136	0,138	0,138
27	0,137	0,137	0,137	0,136
28	0,137	0,137	0,137	0,137
29	0,135	0,134	0,138	0,138
30	0,138	0,137	0,138	0,136
31	0,134	0,134	0,134	0,136
32	0,136	0,138	0,139	0,138
33	0,136	0,136	0,136	0,138
34	0,137	0,137	0,138	0,137
35	0,137	0,137	0,138	0,138
36	0,137	0,137	0,137	0,136
37	0,137	0,136	0,137	0,136
38	0,138	0,137	0,138	0,137
39	0,137	0,136	0,139	0,138
40	0,137	0,136	0,138	0,137
41	0,137	0,137	0,137	0,137
42	0,137	0,136	0,138	0,137
43	0,138	0,138	0,138	0,138
44	0,137	0,136	0,139	0,138
45	0,136	0,135	0,140	0,138
46	0,137	0,135	0,139	0,138
47	0,139	0,138	0,138	0,138
48	0,136	0,135	0,138	0,137
49	0,138	0,137	0,139	0,138
	6,701	6,678	6,767	6,727

TOTAL GÉNÉRAL... 26,873,
lequel divisé par 196 donne pour le diamètre moyen 0m,137.

CONDUITE N° 18.

NUMÉROS D'ORDRE.	DIAMÈTRES. À UN BOUT. Maximum.	À UN BOUT. Minimum.	À L'AUTRE BOUT. Maximum.	À L'AUTRE BOUT. Minimum.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	0,188	0,187	0,189	0,189
2	0,185	0,188	0,185	0,185
3	0,190	0,189	0,187	0,187
4	0,191	0,190	0,188	0,187
5	0,190	0,189	0,187	0,186
6	0,190	0,190	0,186	0,186
7	0,187	0,186	0,189	0,189
8	0,191	0,190	0,185	0,185
9	0,189	0,189	0,185	0,184
10	0,187	0,187	0,189	0,189
11	0,186	0,186	0,189	0,188
12	0,183	0,183	0,187	0,187
13	0,187	0,187	0,186	0,185
14	0,188	0,187	0,187	0,186
15	0,187	0,187	0,189	0,187
16	0,187	0,186	0,188	0,188
17	0,188	0,188	0,187	0,186
18	0,189	0,188	0,189	0,189
19	0,186	0,185	0,188	0,188
20	0,188	0,188	0,187	0,186
21	0,187	0,185	0,187	0,187
22	0,190	0,190	0,187	0,187
23	0,191	0,191	0,188	0,187
24	0,189	0,187	0,187	0,187
25	0,188	0,188	0,190	0,190
26	0,187	0,187	0,188	0,187
27	0,188	0,187	0,190	0,189
28	0,187	0,187	0,189	0,189
29	0,188	0,187	0,190	0,190
30	0,189	0,188	0,188	0,187
31	0,186	0,185	0,188	0,188
32	0,185	0,185	0,183	0,184
33	0,189	0,187	0,189	0,189
34	0,186	0,186	0,185	0,185
35	0,188	0,187	0,188	0,188
36	0,186	0,185	0,190	0,190
37	0,189	0,189	0,190	0,190
38	0,190	0,188	0,190	0,190
39	0,191	0,190	0,189	0,187
40	0,187	0,186	0,187	0,187
41	0,188	0,186	0,185	0,185
42	0,187	0,186	0,190	0,190
43	0,187	0,187	0,185	0,185
44	0,189	0,188	0,188	0,185
	8,272	8,242	8,260	8,240

TOTAL GÉNÉRAL... 33,014,
lequel divisé par 176 donne pour le diamètre moyen 0,m188.

CONDUITE N° 21.

Numéros d'ordre.	Diamètres à un bout. Maximum.	Diamètres à un bout. Minimum.	Diamètres à l'autre bout. Maximum.	Diamètres à l'autre bout. Minimum.
	mét.	mét.	mét.	mét.
1	0,306	0,305	0,304	0,303
2	0,300	0,299	0,296	0,295
3	0,301	0,299	0,295	0,290
4	0,299	0,298	0,295	0,294
5	0,300	0,298	0,300	0,296
6	0,304	0,301	0,301	0,300
7	0,296	0,295	0,295	0,293
8	0,297	0,295	0,297	0,292
9	0,299	0,299	0,300	0,300
10	0,300	0,300	0,298	0,298
11	0,295	0,295	0,296	0,295
12	0,300	0,296	0,296	0,295
13	0,299	0,298	0,298	0,298
14	0,297	0,292	0,292	0,292
15	0,296	0,293	0,295	0,294
16	0,301	0,300	0,302	0,300
17	0,297	0,295	0,294	0,294
18	0,294	0,293	0,296	0,295
19	0,296	0,291	0,296	0,295
20	0,298	0,298	0,297	0,297
21	0,298	0,295	0,295	0,293
22	0,298	0,296	0,299	0,294
23	0,297	0,297	0,299	0,296
24	0,297	0,296	0,296	0,296
25	0,301	0,301	0,298	0,296
26	0,297	0,296	0,295	0,292
27	0,295	0,295	0,294	0,294
28	0,297	0,297	0,293	0,293
29	0,300	0,300	0,301	0,301
30	0,299	0,298	0,295	0,295
31	0,300	0,300	0,304	0,300
32	0,299	0,290	0,304	0,298
33	0,297	0,295	0,294	0,294
34	0,299	0,297	0,297	0,296
35	0,306	0,306	0,306	0,303
36	0,297	0,295	0,298	0,295
37	0,297	0,295	0,294	0,294
38	0,297	0,296	0,294	0,293
39	0,296	0,295	0,294	0,293
40	0,304	0,301	0,302	0,299
41	0,299	0,297	0,298	0,297
	12,245	12,178	12,193	12,130

TOTAL GÉNÉRAL.. 48,740, lequel divisé par 164 donne pour le diamètre moyen 0m,297.

CONDUITE N° 22.

Numéros d'ordre.	Diamètres à un bout. Maximum.	Diamètres à un bout. Minimum.	Diamètres à l'autre bout. Maximum.	Diamètres à l'autre bout. Minimum.
	mét.	mét.	mét.	mét.
1	0,500	0,500	0,500	0,500
2	0,501	0,500	0,500	0,500
3	0,501	0,500	0,501	0,500
4	0,502	0,501	0,501	0,500
5	0,501	0,500	0,500	0,500
6	0,501	0,500	0,501	0,500
7	0,501	0,500	0,501	0,500
8	0,501	0,500	0,502	0,501
9	0,501	0,500	0,501	0,500
10	0,503	0,501	0,501	0,501
11	0,501	0,500	0,500	0,499
12	0,501	0,501	0,501	0,500
13	0,501	0,500	0,500	0,490
14	0,502	0,500	0,500	0,500
15	0,501	0,501	0,501	0,500
16	0,502	0,501	0,502	0,502
17	0,501	0,501	0,501	0,500
18	0,501	0,500	0,501	0,501
19	0,501	0,501	0,501	0,500
20	0,500	0,500	0,502	0,501
21	0,500	0,500	0,503	0,502
22	0,501	0,501	0,505	0,502
23	0,502	0,501	0,501	0,501
24	0,503	0,500	0,502	0,501
25	0,499	0,499	0,502	0,501
26	0,498	0,497	0,501	0,500
27	0,501	0,501	0,502	0,501
28	0,501	0,501	0,500	0,500
29	0,501	0,500	0,502	0,501
30	0,502	0,499	0,502	0,500
31	0,502	0,500	0,501	0,500
32	0,502	0,501	0,502	0,502
33	0,500	0,500	0,502	0,501
34	0,502	0,500	0,502	0,499
35	0,501	0,500	0,502	0,501
36	0,500	0,499	0,501	0,499
37	0,501	0,499	0,502	0,497
38	0,502	0,501	0,504	0,502
39	0,500	0,500	0,500	0,500
40	0,501	0,497	0,502	0,499
41	0,501	0,501	0,503	0,502
42	0,499	0,499	0,500	0,500
43	0,500	0,500	0,500	0,498
44	0,501	0,501	0,501	0,497
45	0,500	0,499	0,500	0,500
46	0,503	0,502	0,500	0,500
	23,046	23,005	23,059	23,010

TOTAL GÉNÉRAL.. 92,120, lequel divisé par 184 donne pour le diamètre moyen 0m,50.

J'arrive maintenant aux expériences faites pour l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

Longueur : 114m,18.

CONDUITE DE 0m,0122 DE

Nota. Les éléments dont les longueurs des conduites se

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences. Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par les manomètres. 1er manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	2e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	3e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	4e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	5e manomètre sur le cylindre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.
		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	10 juin 1850..	12 19 0	1 49 0	30 0	1,503	0,001	1,546	0,002	1,588	0,003	1,592	0,002	1,599	0,005
2	11 juin 1850..	6 0 0	6 18 0	18 0	1,514	0,001	1,606	0,002	1,698	0,003	1,707	0,002	1,711	0,003
3	10 juin 1850..	2 25 0	2 40 0	15 0	1,52	0,001	1,674	0,002	1,824	0,003	1,842	0,002	1,848	0,005
4	*Idem*.........	3 7 0	3 23 0	16 0	1,535	0,001	1,811	0,002	2,068	0,003	2,095	0,002	2,10	0,005
5	*Idem*.........	3 54 0	4 9 0	15 0	1,546	0,001	1,924	0,002	2,30	0,003	2,338	0,002	2,344	0,005
6	11 juin 1850..	12 15 0	12 25 0	10 0	1,601	0,001	2,476	0,002	3,260	0,003	3,33	0,003	3,336	0,005
7	*Idem*.........	12 56 0	1 5 0	9 0	1,655	0,001	3,020	0,003	4,235	0,003	4,355	0,003	4,340	0,003
8	*Idem*.........	1 30 0	1 37 0	7 0	1,710	0,001	3,503	0,003	5,182	0,002	5,336	0,003	5,345	0,003
9	*Idem*.........	2 13 0	2 19 22	6 22	1,758	0,001	4,011	0,003	6,157	0,003	6,357	0,003	6,367	0,003
10	*Idem*.........	3 4 15	3 0 30	5 15	1,805	0,001	5,012	0,001	8,060	0,001	8,358	0,002	8,368	0,002
11	*Idem*.........	4 27 0	4 31 30	4 30	2,005	0,001	6,333	0,001	10,559	0,001	10,977	0,002	»	»
12	15 juin 1850..	8 56 0	9 26 0	30 0	2,421	0,001	11,321	0,001	20,283	0,001	21,115	0,001	21,139	0,001
13	*Idem*.........	9 57 0	10 17 0	20 0	3,291	0,001	20,437	0,001	37,717	0,001	30,308	0,001	39,410	0,001

Longueur : 113m,455.

CONDUITE DE 0m,0266 DE

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	1er manomètre. Charges	Oscillations.	2e manomètre. Charges	Oscillations.	3e manomètre. Charges	Oscillations.	4e manomètre. Charges	Oscillations.	5e manomètre. Charges	Oscillations.
14	5 avril 1850...	2 28 0	2 35 0	7 0	1,512	0,003	1,53	0,003	1,545	0,003	1,545	»	1,546	»
15	*Idem*.........	3 10 0	3 49 0	30 0	1,528	0,002	1,607	0,002	1,680	0,002	1,6855	0,002	1,687	0,002
16	*Idem*.........	4 17 0	4 38 0	21 0	1,565	0,002	1,8165	0,002	2,052	0,002	2,072	0,002	2,08	0,002
17	*Idem*.........	4 54 0 3 50 0	5 06 0 6 02 0	24 0	1,619	0,003	2,139	0,004	2,634	0,005	2,68	0,005	2,693	0,005
18	6 avril 1850...	12 28 0	12 38 0	10 0	1,708	0,001	2,690	0,002	3,645	0,006	3,732	0,006	3,759	0,006
19	11 avril 1850..	2 57 0	3 4 0	7 0	1,815	0,001	3,398	0,001	4,941	0,002	5,081	0,002	5,130	0,001
20	*Idem*.........	3 57 0	4 3 0	6 0	1,897	0,001	4,108	0,002	6,245	0,004	6,445	0,001	6,512	0,001
21	12 avril 1850..	4 30 0	4 35 0	5 0	2,056	0,001	5,240	0,001	8,372	0,001	8,671	0,001	8,764	0,001
22	*Idem*.........	1 35 0	1 39 0	4 0	2,394	0,001	7,443	0,001	12,416	0,001	12,867	0,001	13,083	0,001
23	20 avril 1850..	5 0 0	5 4 0	4 0	25,407	0,003	30,733	0,002	35,978	0,001	36,397	0,001	36,628	0,001
24	11 avril 1850..	4 30 0	4 33 0	3 0	3,081	0,001	11,955	0,001	20,907	0,001	21,675	0,001	21,986	0,001
25	17 avril 1850..	3 10 0	3 12 30	2 30	3,742	0,001	16.532	0,001	29,343	0,002	30,498	0,002	30,901	0,002
26	15 avril 1850..	2 38 0	2 40 20	2 20	4,386	0,002	19,616	0,02	35,338	0,02	36,844	0,002	37,378	0,04

DIAMETRE (EN FER ÉTIRÉ).

Section : 0^{m},000,117.

composent sont donnés à la suite des tableaux des expériences

Pertes de charges dues aux résistances. Entre la 1re et le 2e manomètre.	Entre la 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	Hauteur de l'eau dans les bassins de jauge. Au commencement.	A la fin.	Différence.	Numéros des bassins.	Section des bassins.	Débit de la conduite.	Vitesse moyenne par seconde.	Température de l'eau.	Observations.
mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.		mét.	litres.	mét.	degr.	
0,043	0,042	0,085	0,004	0,007	0,20	1,237	1,037	7	0,00787	8,162	0,0344	19	
0,092	0,092	0,184	0,009	0,004	0,50	1,653	1,153	7	Id.	9,074	0,0718	22	
0,154	0,15	0,304	0,018	0,006	0,20	1,768	1,568	7	Id.	12,340	0,117	22	
0,276	0,257	0,533	0,027	0,005	0,20	2,300	2,10	7	Id.	16,527	0,147	22,5	
0,378	0,376	0,754	0,038	0,006	0,20	2,455	2,255	7	Id.	17,747	0,169	23	
0,875	0,784	1,659	0,070	0,006	0,20	2,248	2,048	7	Id.	16,118	0,236	27	
1,365	1,215	2,580	0,120	0,006	0,20	2,508	2,308	7	Id.	18,164	0,287	26,5	
1,793	1,679	3,472	0,154	0,009	0,20	2,345	2,145	7	Id.	16,881	0,343	24,5	
2,253	2,146	4,399	0,200	0,010	0,20	2,43	2,23	7	Id.	17,550	0,392	23,5	
3,207	3,057	6,264	0,289	0,010	0,20	2,441	2,241	7	Id.	17,037	0,478	24,5	
4,328	4,226	8,554	0,418	»	0,15	2,45	2,30	7	Id.	36,178	0,573	22	
8,900	8,962	17,862	0,832	0,024	0,18	2,289	2,109	6	0,08451	178,232	0,846	»	
17,146	17,280	34,426	1,591	0,102	0,18	2,165	1,985	6	0,08451	167,752	1,195	»	

DIAMÈTRE (EN FER ÉTIRÉ).

Section : 0^{m},000,556.

Pertes de charges dues aux résistances. Entre la 1re et le 2e manomètre.	Entre la 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	Hauteur de l'eau dans les bassins de jauge. Au commencement.	A la fin.	Différence.	Numéros des bassins.	Section des bassins.	Débit de la conduite.	Vitesse moyenne par seconde.	Température de l'eau.	Observations.
0,018	0,015	0,033	0,000	0,001	0,20	1,916	1,716	7	0,00787	13,505	0,0578	»	
0,079	0,073	0,152	0,005	0,002	0,20	1,748	1,548	6	0,08451	130,831	0,131	»	
0,2515	0,2355	0,487	0,020	0,008	0,20	2,255	2,055	6	Id.	173,668	0,248	»	
0,52	0,495	1,015	0,040	0,013	0,20 / 0,20	1,943 / 1,943	3,486	6	Id.	294,602	0,368	»	
1,182	0,955	1,937	0,087	0,027	0,20	2,26	2,06	6	Id.	174,091	0,522	»	
1,583	1,543	3,126	0,140	0,049	0,20	2,044	1,844	6	Id.	155,836	0,667	15,5	
2,211	2,137	4,348	0,200	0,067	0,20	2,085	1,885	6	Id.	159,301	0,796	15	
3,184	3,132	6,316	0,299	0,093	0,20	2,106	1,906	6	Id.	160,380	0,961	»	
5,049	4,973	10,022	0,451	0,216	0,20	2,15	1,95	6	Id.	164,795	1,235	»	
5,326	5,245	10,571	0,419	0,231	0,20	2,23	2,03	6	Id.	170,964	1,281	14	
8,874	8,952	17,826	0,768	0,311	0,20	2,192	1,992	6	Id.	168,344	1,682	14	
12,790	12,811	25,601	1,155	0,403	0,20 / 0,20	2,178 / 2,165	3,943	6	Id.	333,223	1,998	14	
15,230	15,722	30,952	1,506	0,534	0,20	2,212	2,012	6	Id.	170,034	2,184	12,5	

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences. Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par les manomètres. 1er manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	2e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	3e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	4e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	5e manomètre sur le cylindre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.

Longueur : 113m,455. CONDUITE DE 0m,0266 DE

J'ai entrepris sur cette conduite quelques expériences ayant pour but de reconnaître si l'intro-
différences de charges existant entre le 1er et le 2e manomètre, le 2e et le 3e manomètre; pour
diamètre, et j'ai obtenu les résultats suivants :

		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
26 bis.	24 mai 1850...	2 38 0	2 48 0	10 0	1,685	»	2,59	0,001	3,443	0,001	3,530	0,001	39,703	0,000
26 ter.	*Idem*.........	4 13 0	4 26 0	13 0	1,60	»	2,10	0,001	2,577	0,001	2,63	0,001	27,351	0,000
26 quat.	13 juin 1850...	4 56 0	5 16 0	20 0	1,595	0,002	1,687	0,005	1,772	0,006	1,792	0,006	3,333	0,001

EXPÉRIENCES COMPLÉMENTAIRES

26a	5 avril 1850...	12 26 0	12 41 0	15 0	1,510	0,003	1,52	0,002	1,530	0,003	1,530	0,000	1,530	0,000
26b	*Idem*.........	2 13 0	2 26 0	13 0	1,5065	0,001	1,519	0,001	1,530	0,001	1,530	0,000	1,531	0,000
26c	10 avril 1850..	1 53 0	2 6 25	13 25	1,507	0,001	1,522	0,001	1,532	0,001	1,532	0,000	1,533	0,000
26d	13 juin 1850..	5 59 0	6 5 0	6 0	1,517	0,001	1,546	0,001	1,572	0,001	1,580	0,001	1,583	0,001

Longueur : 113m,36. CONDUITE DE 0m,0395 DE

27	2 mai 1850...	9 6 0	9 9 0	3 0	1,515	0,001	1,527	0,002	1,537	0,003	1,537	0,002	1,538	0,001
28	*Idem*.........	9 22 0	9 42 0	20 0	1,52	0,001	1,564	0,002	1,598	0,002	1,601	0,002	1,603	0,001
29	*Idem*.........	10 3 0	10 15 0	12 0	1,539	0,001	1,632	0,002	1,721	0,002	1,73	0,002	1,732	0,001
30	*Idem*.........	10 25 0	10 34 0	9 0	1,556	0,001	1,729	0,002	1,892	0,002	1,906	0,002	1,916	0,001
31	*Idem*.........	10 48 0	10 54 0	6 0	1,59	0,001	1,921	0,010	2,240	0,020	2,269	0,020	2,283	0,020
32	*Idem*.........	11 43 0	12 13 0	30 0	1,651	0,001	2,305	0,005	2,937	0,010	2,998	0,005	3,03	0,005
33	*Idem*.........	12 43 0	1 3 0	20 0	1,753	0,001	2,97	0,010	4,142	0,010	4,259	0,010	4,322	0,012
34	*Idem*.........	1 28 0	1 48 0	20 0	1,82	0,001	3,41	0,010	4,943	0,020	5,097	0,015	5,180	0,010
35	*Idem*.........	2 7 0	2 22 0	15 0	1,924	0,001	4,137	0,010	6,272	0,020	6,485	0,015	6,605	0,015
36	11 mai 1850...	3 37 0	2 48 0	11 0	2,634	0,000	8,911	0,002	14,949	0,004	15,550	0,004	15,934	0,005
37	*Idem*.........	4 39 0	4 48 0	9 0	3,088	0,000	12,068	0,002	20,641	0,001	21,542	0,001	22,054	0,002
38	*Idem*.........	5 4 0	5 12 0	8 0	3,541	0,000	14,968	0,002	25,949	0,002	27,096	0,002	27,753	0,005

Longueur : 52m,44. CONDUITE DE 0m,014 DE

39	9 octobre 1851.	4 0 0	4 10 0	10 0	0,628	»	0,647	»	0,660	»	»	»	0,676	»
40	*Idem*.........	4 27 0	4 35 0	8 0	0,632	»	0,716	»	0,800	»	»	»	0,815	»
41	*Idem*.........	4 56 0	5 1 0	5 0	0,635	»	0,8515	0,002	1,066	»	»	»	1,097	»
42	*Idem*.........	5 15 0	5 18 0	3 0	0,640	»	1,27	»	1,903	»	»	»	1,977	»
43	10 octob. 1851.	1 44 0	1 54 0	10 0	0,647	0,001	2,175	0,001	3,720	0,001	»	»	3,935	0,001
44	*Idem*.........	1 35 0	1 45 0	10 0	0,651	0,001	3,494	0,001	6,370	0,001	»	»	6,765	0,001
45	*Idem*.........	2 30 0	2 39 0	9 0	0,653	0,001	4,69	0,001	»	0,001	»	»	»	»

PERTES DE CHARGES DUES AUX RÉSISTANCES. Entre le 1er et le 2e manomètre.	Entre le 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	HAUTEUR DE L'EAU dans LES BASSINS DE JAUGE. Au commencement.	A la fin.	Différence.	NUMÉROS DES BASSINS.	SECTION des BASSINS.	DÉBIT de LA CONDUITE.	VITESSE MOYENNE PAR SECONDE.	TEMPÉRATURE DE L'EAU.	OBSERVATIONS.

DIAMETRE (EN FER ÉTIRÉ). [Suite.]

SECTION : 0m,000,556.

duction au centre de la conduite d'une forte vitesse étrangère serait susceptible de modifier les cela, j'ai placé à la tête de la conduite un diaphragme en cuivre percé d'un orifice de 0m,0005 de

met.	met.	mèt.	met.	met.	met.	met.	mèt.		mèt.	litres.	mèt.	degr.	
0,905	0,853	1,758	0,000	0,000	0,20	2,168	1,968	6	0,08451	166,316	0,489	20	
0,505	0,477	0,982	0,000	0,000	0,20	2,012	1,842	6	*Id.*	155,667	0,360	21	
0,092	0,085	0,177	0,020	1,541	0.20	1,31	1,11	7	0,00787	8,736	0,140	22	

POUR LES PETITES VITESSES.

0,01	0,01	0,02	0,000	0,000	0,20	2,445	2,245	7	0,00787	17,668	0,0353	»	
0,0125	0,011	0,0235	0,000	0,001	0,20	2,31	2,11	7	*Id.*	16,606	0,0383	19	
0,015	0,010	0,025	0,000	0,001	0,20	2,50	2,30	7	*Id.*	18,101	0,0404	»	
0,029	0,026	0,055	0,008	0,003	0.15	2,348	2,198	7	*Id.*	17,298	0,086	»	

DIAMÈTRE (EN FER ÉTIRÉ).

SECTION : 0m,001,225.

0,012	0,010	0,022	0,000	0,001	0,20	1,953	1,753	7	0,00787	13,796	0,0626	»	
0,044	0,034	0,078	0,003	0,002	0,20	2,135	1,935	6	0,08451	163,527	0,1112	12,75	
0,093	0,089	0,182	0,009	0,002	0,20	2,129	1,929	6	*Id.*	163,020	0,1848	13	
0,173	0,163	0,336	0,014	0,010	0,20	2,248	2,048	6	*Id.*	173,076	0,2616	13	
0,331	0,319	0,650	0,029	0,016	0,20	2,192	1,992	6	*Id.*	168,344	0,3817	13	
0,654	0,632	1,286	0,061	0,032	0,208	1,912	1,704	5	0,723823	1233,394	0,5594	13	
1,217	1,172	2,389	0,117	0,063	0,208	1,808	1,600	5	*Id.*	1158,117	0,7878	13	
1,59	1,533	3,123	0,154	0,083	0,217	2,075	1,858	5	*Id.*	1344,863	0,9149	13	
2,213	2,135	4,348	0,213	0,120	0,218	1,886	1,668	5	*Id.*	1207,337	1,0951	13	
6,277	6,038	12,315	0,619	0,384	0,225	2,355	2,130	5	*Id.*	1541,743	1,9205	14,5	
8,980	8,573	17,553	1,101	0,512	0,23	2,337	2,107	5	*Id.*	1525,095	2,3055	14	
11,563	10,981	22,408	1,147	0,657	0,23	2,34	2,11	5	*Id.*	1527,267	2,3971	13	

DIAMÈTRE (EN PLOMB).

SECTION : 0m,000,154.

0,019	0,013	0,032	»	»	0,227	0,692	0,465	7	0,00787	3,660	0,040	»	
0,084	0,084	0,168	»	»	0,365	1,935	1,570	7	*Id*	12,356	0,165	»	
0,2165	0,2145	0,431	»	»	0,375	1,815	1,440	7	*Id.*	11,333	0,246	»	
0,630	0,633	1,263	»	»	0,404	1,974	1,570	7	*Id.*	12,356	0,446	»	
1,528	1,545	3,073	»	»	0,456	1,256	0,800	6	0,08451	67,600	0,732	»	
2,843	2,876	5,719	»	»	0,353	1,499	1,146	6	*Id.*	96,837	1,048	»	
4,037	4,037	8,074	»	»	0,570	1,840	1,27	6	*Id.*	107,315	1,290	»	

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences. Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par les manomètres. 1er manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	2e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	3e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	4e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	5e manomètre sur le cylindre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.
	Longueur : 52m,54.										**Conduite de 0m,027 de**			
		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
46	16 octob. 1851.	2 38 0	2 43 0	5 0	0,635	0,001	0,646	»	0,657		»	»	»	»
47	*Idem*.........	2 59 0	3 1 15	2 15	0,643	0,001	0,719	»	0,793	»	»	»	»	»
48	*Idem*.........	3 19 0	3 27 0	8 0	0,646	0,001	0,8475	»	1,053	»	»	»	»	»
49	*Idem*.........	3 43 0	3 50 0	7 0	0,650	0,001	1,220	»	1,784	»	»	»	»	»
50	*Idem*.........	4 4 0	4 7 30	3 30	0,652	0,003	2,017	»	3,370	»	»	»	»	»
51	*Idem*.........	4 28 0	4 32 0	4 0	0,650	0,005	3,29	»	5,900	»	»	»	»	»
52	*Idem*.........	4 43 0	4 54 0	11 0	0,647	0,006	4,305	»	»	»	»	»	»	»
	Longueur : 52m,55.										**Conduite de 0m,041 de**			
53	27 octob. 1851.	2 9 0	2 19 0	10 0	0,646	»	0,667	»	0,687	»	»	»	»	»
54	*Idem*.........	3 15 0	3 22 30	7 30	0,653	0,001	0,747	0,001	0,834	0,001	»	»	»	»
55	*Idem*.........	3 34 0	3 38 0	4 0	0,661	0,001	0,860	0,001	1,050	0,001	»	»	»	»
56	*Idem*.........	3 55 0	3 58 0	3 0	0,675	0,002	1,271	0,002	1,850	0,003	»	»	»	»
57	*Idem*.........	4 39 0	4 44 0	5 0	0,690	0,001	2,145	0,001	3,490	0,004	»	»	»	»
58	*Idem*.........	4 57 0	5 2 0	5 0	0,698	0,004	3,587	0,005	6,235	0,010	»	»	»	»
59	*Idem*.........	5 10 0	5 16 0	6 0	0,702	0,004	4,672	0,004	»	»	»	»	»	»
	Longueur : 113m,34.										**Conduite de 0m,0268 de**			
60	30 avril 1850..	7 20 0	7 35 0	15 0	1,507	0,001	1,522	0,001	1,529	0,001	1,530	0,001	1,533	0,001
61	*Idem*.........	8 28 0	8 33 0	5 0	1,519	0,001	1,548	0,002	1,586	0,002	1,588	0,002	1,590	0,001
62	*Idem*.........	9 27 0	9 42 0	15 0	1,532	0,001	1,65 1,648	0,002	1,758 1,755	0,002	1,763 1,759	0,002	1,769 1,765	0,001
63	*Idem*.........	10 5 0	10 20 0	15 0	1,569 1,568	0,001	1,873 1,874	0,002	2,177 2,178	0,002	2,204	0,002	2,21	0,001
64	*Idem*.........	10 38 0	10 48 0	10 0	1,617	0,001	2,187 2,177	0,003	2,757 2,743	0,004	2,806 2,790	0,003	2,822 2,806	0,001
65	*Idem*.........	12 21 0	12 29 0	8 0	1,712	0,001	2,817 2,825	0,003	3,927 3,940	0,003	4,017 4,035	0,003	4,054 4,072	0,003
66	*Idem*.........	1 7 0	1 14 0	7 0	1,785	0,001	3,290	0,005	4,820	0,010	4,942	0,005	4,995	0,005
67	*Idem*.........	1 43 0	1 48 0	5 0	1,918	0,001	4,175 4,178	0,005	0,458	0,005	6,64 6,645	0,005	6,72 6,725	0,005
68	19 mai 1850...	12 14 0	12 39 0	25 0	2,497	0,001	8,380	0,001	14,343	0,002	14,839	0,002	15,073	0,003
69	*Idem*.........	12 55 0	1 20 0	25 0	2,977	0,001	11,940	0,001	20,962	0,002	21,758	0,002	22,091	0,003
70	*Idem*.........	2 8 0	2 25 0	17 0	3,559	0,001	15,681	0,001	27,978	0,003	28,982	0,003	29,604	0,010
71	*Idem*.........	2 39 0	2 54 0	15 0	4,104	0,001	19,342	0,001	34,818	0,001	36,055	0,001	36,729	0,001

DIAMÈTRE (EN PLOMB). Section : 0m,000,572,55.

Pertes de charges dues aux résistances. Entre le 1er et le 2e manomètre.	Entre le 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	Hauteur de l'eau dans les bassins de jauge. Au commencement.	A la fin.	Différence.	Numéros des bassins.	Section des bassins.	Débit de la conduite.	Vitesse moyenne par seconde.	Température de l'eau.	Observations.
mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.		mét.	litres.	mét.	degr.	
0,011	0,011	0,022	»	»	0,257	1,730	1,473	7	0,00787	11,593	0,065	»	
0,076	0,074	0,150	»	»	0,198	2,048	1,850	7	*Id.*	14,560	0,188	»	
0,2015	0,2055	0,407	»	»	0,252	1,333	1,081	6	0,08451	91,345	0,332	»	
0,570	0,564	1,134	»	»	0,200	1,900	1,700	6	*Id.*	143,650	0,507	»	
1,365	1,353	2,718	»	»	0,150	1,811	1,661	6	*Id.*	140,355	1,021	»	
2,610	2,610	5,250	»	»	0,748	1,499	0,751	5	0,723823	543,591	1,436	»	
3,658	3,658	7,316	»	»	0,985	1,782	0,797	5	*Id.*	576,887	1,079	»	

DIAMÈTRE (EN PLOMB). Section : 0m,001,32.

0,021	0,020	0,041	»	»	0,405	1,527	1,122	6	0,08451	94,809	0,120	»	
0,094	0,087	0,181	»	»	0,305	2,245	1,940	6	*Id.*	163,930	0,276	»	
0,199	0,190	0,389	»	»	0,673	2,277	1,604	6	*Id.*	135,538	0,428	»	
0,596	0,559	1,155	»	»	0,120	2,345	2,225	6	*Id.*	188,013	0,792	»	
1,455	1,345	2,800	»	»	0,808	1,528	0,720	5	0,723823	521,152	1,316	»	
2,889	2,648	5,537	»	»	0,599	1,652	1,053	5	*Id.*	762,186	1,925	»	
3,970	3,971	7,610	»	»	0,809	2,321	1,512	5	*Id.*	1094,420	2,305	»	

DIAMÈTRE (EN TÔLE ET BITUME). Section : 0m,000,564,65.

0,015	0,007	0,022	0,001	0,003	0,20	2,137	1,937	7	0,00787	15,244	0,030	10,5	
0,029	0,038	0,067	0,002	0,002	0,20	2,184	1,984	7	»	15,614	0,092	11,5	
0,117	0,1075	0,2245	0,0065	0,006	1,338	2,268	0,930	6	0,08451	78,594	0,155	12,5	
0,305	0,304	0,609	0,0265	0,006	0,20	1,827	1,627	6	»	137,498	0,271	12,5	
0,565	0,568	1,133	0,048	0,016	0,20	1,74	1,54	6	»	130,145	0,384	13	
1,109	1,1125	2,2215	0,0925	0,037	0,20	2,02	1,82	6	»	153,808	0,567	15	
1,511	1,524	3,035	0,122	0,053	0,20	2,102	1,902	6	»	160,738	0,678	14,75	
2,2585	2,2815	4,540	0,1845	0,080	0,20	1,91	1,71	6	»	144,512	0,853	15	
5,883	5,963	11,846	0,496	0,234	0,388	2,105	1,717	5	0,723823	1242,604	1,467	15,5	
8,963	9,022	17,985	0,796	0,333	0,272	2,447	2,175	5	»	1574,315	1,859	15	
12,122	12,297	24,419	1,003	0,622	0,450	2,203	1,753	5	»	1268,862	2,203	14,5	
15,238	15,476	30,714	1,237	0,674	0,31	2,07	1,76	5	»	1273,928	2,507	14	

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences. Heure du commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par les manomètres. 1er manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	2e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	3e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	4e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	5e manomètre sur le cylindre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.
Longueur : 111m,27.														CONDUITE DE 0m,0826 DE
		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.
72	31 mai 1850...	9 55 0	10 43 0	48 0	1,41	0,000	1,423	0,008	1,437	0,010	1,438	0,010	1,44	0,015
73	*Idem*.........	11 4 0	11 29 0	25 0	1,424	0,001	1,457	0,004	1,49	0,004	1,493	0,005	1,498	0,005
74	3 juin 1850...	5 15 0	5 25 0	10 0	1,45	0,001	1,555	0,004	1,653	0,004	1,663	0,004	1,687	0,004
75	31 mai 1850...	1 27 0	1 33 0	6 0	1,518	0,001	1,834 / 1,830	0,003	2,150 / 2,144	0,004	2,176 / 2,168	0,004	2,228 / 2,22	0,003
76	*Idem*.........	1 52 0	1 56 0	4 0	1,60	0,001	2,207	0,008	2,82	0,005	2,865	0,005	2,975	0,005
77	*Idem*.........	3 7 0	3 43 0	36 0	1,99	0,001	3,115	0,010	4,275	0,010	4,335	0,010	4,580	0,010
78	*Idem*.........	4 5 0	4 38 0	33 0	2,083	0,003	3,610	0,010	5,19	0,012	5,32	0,012	5,61	0,010
79	*Idem*.........	4 53 0	5 21 0	28 0	2,200	0,005	4,200	0,010	6,28	0,020	6,43	0,002	6,83	0,030
80	3 juin 1850...	1 52 0	2 15 0	23 0	2,585	0,001	6,074	0,002	9,755	0,003	10,017	0,003	10,853	0,002
81	*Idem*.........	2 34 0	2 50 0	16 0	2,980	0,001	8,173	0,002	13,640	0,004	14,034	0,004	15,270	0,002
82	*Idem*.........	3 41 0	3 54 0	13 0	3,414	0,001	10,167	0,003	17,294	0,003	17,858	0,003	19,607	0,002
83	*Idem*.........	4 17 0	4 31 0	14 0	3,560	0,001	11,097	0,001	19,165	0,001	19,685	0,001	21,555	0,001
Longueur : 111m,347.														CONDUITE DE 0m,196 DE
84	0 nov. 1850...	1 0 0	1 40 0	40 0	1,74	0,001	1,75	0,004	1,76	0,004	1,761	0,004	1,765	0,004
85	7 nov. 1850...	1 0 0	1 31 0	31 0	1,75	0,001	1,775	0,01	1,798	0,01	1,80	0,01	1,807	0,01
86	*Idem*.........	1 53 0	2 11 0	18 0	1,766	0,002	1,83	0,02	1,895	0,02	1,90	0,02	1,92	0,02
87	*Idem*.........	2 38 0	2 55 30	17 30	1,802 / 1,798	0,002	1,975 / 1,965	0,03	2,145 / 2,125	0,03	2,12	0,03	2,20 / 2,175	0,03
88	*Idem*.........	3 37 0	3 46 30	9 30	1,835	0,003	2,13	0,02	2,415	0,02	2,41	0,02	2,51	0,02
89	*Idem*.........	4 30 0	4 50 0	20 0	1,91	0,001	2,50	0,05	3,10	0,05	3,10	0,05	3,32	0,06
90	8 nov. 1850...	1 32 0	1 52 0	20 0	1,93	0,001	2,55	0,04	3,13	0,06	3,12	0,08	3,37	0,06
91	*Idem*.........	2 6 0	2 37 0	31 0	2,03	0,002	3,09	0,04	4,13	0,06	4,10	0,08	4,53	0,06
92	*Idem*.........	3 1 0	3 32 0	31 0	2,14	0,002	3,64	0,05	5,11	0,06	5,06	0,06	5,71	0,06
93	*Idem*.........	3 45 0	4 25 30	40 30	2,22	0,002	4,06	0,04	5,86	0,08	5,79	0,08	6,60	0,08
94	12 nov. 1850..	1 12 30	1 33 30	21 0	3,132	0,005	9,157	0,005	15,288	0,08	13,609	0,04	18,102	0,01

Nota. Nous avons reconnu, après le démontage des tuyaux, que des portions détachées de
Il n'y a donc aucune conclusion à tirer des différences entre les manomètres 3 et 4, et 4 et 5.

PERTES DE CHARGES DUES AUX RÉSISTANCES.					HAUTEUR DE L'EAU dans LES BASSINS DE JAUGE.			NUMÉROS DES BASSINS.	SECTION des BASSINS.	DÉBIT de LA CONDUITE.	VITESSE MOYENNE PAR SECONDE.	TEMPÉRATURE DE L'EAU.	OBSERVATIONS.
Entre le 1er et le 2e manomètre.	Entre le 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	Au commencement.	A la fin.	Différence.						

DIAMÈTRE (EN TÔLE ET BITUME).

Section : 0m,005,359.3.

mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	litres.	mèt.	degr.	
0,013	0,014	0,027	0,001	0,002	0,180	2,316	2,136	5	0,723823	1546,086	0,100	21,5	
0,033	0,033	0,066	0,003	0,005	0,458	2,415	1,957	5	*Id.*	2124,421	0,176	21,5	
0,105	0,098	0,203	0,010	0,024	0,480	2,066	1,586	5	*Id.*	1147,98	0,357	22	
0,312	0,317	0,029	0,025	0,052	0,268	2,040	1,772	5	*Id.*	1282,614	0,665	22	
0,607	0,613	1,220	0,045	0,110	0,250	1,918	1,688	5	*Id.*	1221,813	0,950	22	
1,125	1,160	2,285	0,060	0,245	0,58	1,202	0,622	1	25,191	15660,050	1,354	21	
1,527	1,58	3,107	0,130	0,290	0,52	1,001	0,681	1	25,130	17113,53	1,613	21	
2,000	2,07	4,070	0,150	0,400	0,50	1,170	0,670	1	25,178	16869,26	1,874	21	
3,489	5,681	7,170	0,262	0,836	0,52	1,275	0,756	1	25,193	19020,715	2,572	21	
5,187	5,407	10,654	0,304	1,236	0,70	1,355	0,655	1	25,226	16523,03	3,211	21	
0,753	7,127	13,880	0,564	1,749	0,68	1,288	0,608	1	25,215	15330,72	3,668	22	
7,541	8,068	15,605	0,520	1,870	0,60	1,297	0,697	1	25,206	17565,562	5,897	22	

DIAMÈTRE (EN TÔLE ET BITUME).

Section : 0m,030,19.

0,01	0,01	0,02	0,001	0,004	0,35	0,868	0,518	1	25,1161	13009,10	0,180	»	
0,025	0,023	0,048	0,002	0,007	0,60	1,22	0,62	1	25,1064	15621,77	0,278	»	
0,064	0,065	0,129	0,005	0,02	0,72	1,323	0,603	1	25,2248	15210,55	0,466	»	
0,17	0,10	0,33	0,005	0,055	0,50	1,48	0,98	1	25,2177	24715,35	0,780	»	
0,295	0,285	0,580	0,005	0,10	0,75	1,483	0,733	1	25,2512	18509,13	1,076	»	
0,59	0,60	1,19	0,000	0,22	»	0,549	0,549	4	107,4013	60037,33	1,657	»	
0,62	0,58	1,20	0,01	0,25	»	0,556	0,556	4	107,4065	60792,08	1,079	»	
1,06	1,04	2,10	0,03	0,43	»	1,16	1,16	4	107,9029	126839,86	2,259	»	
1,50	1,47	2,97	0,05	0,65	»	1,41	1,41	4	108,0536	154030,41	2,743	»	
1,84	1,80	3,64	0,07	0,81	»	2,043	2,043	4	108,5401	223918,23	3,052	»	
6,025	6,131	12,156	1,679	4,493	»	2,095	2,095	4	108,5793	228613,72	6,010	»	

l'enduit intérieur bitumineux avaient dû altérer notablement les indications du manomètre n° 4, comme nous aurons occasion de le dire plus tard (VIe chapitre).

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences: Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par les manomètres: 1er manomètre: Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	2e manomètre: Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	3e manomètre: Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	4e manomètre: Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	5e manomètre sur le cylindre: Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.
	Longueur : 111m,394.				CONDUITE DE 0m,285 DE									
		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.
95	13 juillet 1850.	5 32 0	5 45 0	13 0	1,768	0,001	1,808	0,01	1,838	0,01	1,838	0,01	1,848	0,01
96	10 juillet 1850.	6 23 0	6 27 40	4 40	1,80	0,002	1,935	0,02	2,055	0,03	2,055	0,03	2,115	0,03
97	13 juillet 1850.	6 15 0	6 36 0	21 0	1,812	0,005	2,065	0,04	2,275	0,05	2,28	0,05	2,39	0,06
98	10 juillet 1850.	6 50 0	7 05 0	15 0	1,855	0,010	2,205	0,03	2,540	0,04	2,540	0,04	2,73	0,05
99	Idem.........	7 18 0	7 30 0	12 0	1,90	0,010	2,50	0,03	3,09	0,08	3,09	0,08	3,45	0,10
100	11 juillet 1850.	5 5 0	5 15 0	10 0	1,966	0,020	2,965	0,03	4,01	0,06	»	»	4,64	0,06
101	Idem	6 15 0	6 27 0	12 0	2,006 / 2,000	0,02	3,39 / 3,36	0,04	4,84 / 4,78	0,06	4,84 / 4,78	0,06	5,74 / 5,68	0,06
	Longueur : 44m,86.				CONDUITE DE 0m,04968 DE									
102	21 mai 1851...	1 55 0	2 4 0	9 0	0,661	0,001	0,683	0,001	0,704	0,001	»	»	0,710	0,001
103	Idem.........	3 24 0	3 29 0	5 0	0,675	0,001	0,755	0,001	0,830	0,001	»	»	0,845	0,001
104	Idem.........	3 57 0 / 4 5 0	4 0 0 / 4 8 0	6 0	0,697 / 0,607	0,002	0,877	0,002	1,043	0,002	»	»	1,100	0,003
105	Idem.........	4 30 0	4 40 0	10 0	0,755	0,005	1,300	0,005	1,795	0,005	»	»	1,955	0,005
106	Idem.........	4 58 0	5 4 30	6 30	0,870	0,010	2,222	0,020	3,455	0,030	»	»	3,800 / 3,900	»
107	Idem.........	5 44 0	5 48 30	4 30	1,045	0,015	3,665	0,030	6,065	0,030	»	»	6,90	0,030
	Longueur : 114m,28.				CONDUITE DE 0m,0359 DE									
108	16 nov. 1850..	1 39 0	1 45 0	6 0	1,511	0,001	1,523	0,001	1,536	0,002	1,536	0,001	1,531	0,001
109	Idem.........	2 0 0	2 36 0	36 0	1,52	0,001	1,561	0,001	1,591	0,001	1,594	0,001	1,60	0,001
110	Idem.........	2 57 0	3 12 0	15 0	1,535	0,001	1,637	0,001	1,718	0,001	1,723	0,001	1,727	0,001
111	Idem.........	3 27 0	3 37 0	10 0	1,585	0,001	1,955	0,001	2,255	0,001	2,272	0,001	2,278	0,001
112	Idem.........	3 47 0	3 53 0	6 0	1,67	0,001	2,53	0,003	3,195	0,002	3,24	0,002	3,25	0,002
113	Idem.........	4 5 0	4 10 0	5 0	1,82	0,001	3,655	0,002	5,06	0,002	5,145	0,002	5,168	0,002
114	Idem.........	4 27 0	4 31 0	4 0	1,925	0,002	4,23	0,001	6,08	0,001	6,195	0,001	6,22	0,001
	Longueur : 114m,28.				CONDUITE DE 0m,0364 DE									
115	30 nov. 1850..	12 53 0	1 8 0	15 0	1,525	0,001	1,56	0,001	1,596	0,001	1,599	0,001	1,602	0,001
116	Idem.........	1 20 0	1 30 0	10 0	1,537	0,001	1,627	0,001	1,717	0,001	1,725	0,001	1,73	0,001
117	Idem.........	1 42 0	1 49 0	7 0	1,592	0,001	1,913	0,001	2,243	0,001	2,275	0,001	2,287	0,001
118	Idem.........	2 8 0	2 12 0	4 0	1,678	0,001	2,385	0,001	3,119	0,001	3,185	0,001	3,212	0,001
119	Idem.........	3 0 0	3 15 0	15 0	1,84	0,002	3,313	0,002	4,858	0,002	4,997	0,003	5,055	0,002
120	Idem.........	3 34 0	3 46 0	12 0	1,937	0,002	3,869	0,002	5,903	0,002	6,087	6,003	6,163	0,002
121	Idem.........	3 57 0	4 7 0	10 0	2,007	0,002	4,266	0,003	6,657	0,003	»	»	»	»

Pertes de charges dues aux résistances. Entre le 1er et le 2e manomètre.	Entre le 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	Hauteur de l'eau dans les bassins de jauge. Au commencement.	À la fin.	Différence.	Numéros des bassins.	Section des bassins.	Débit de la conduite.	Vitesse moyenne par seconde.	Température de l'eau.	Observations.

DIAMÈTRE (EN TÔLE ET BITUME).

Section : 0^{m},003,8.

mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	litres.	mèt.	degr.	
0,04	0,03	0,07	»	0,01	0,43	1,21	0,78	1	25,170	19632,60	0,395	»	Même observation que pour la conduite qui précède (0^{m},196).
0,135	0,12	0,255	»	0,06	0,83	1,43	0,60	1	25,257	15154,20	0,848	21	
0,223	0,21	0,433	»	0,115	»	0,87	0,87	4	107,6513	94786,97	1,179	»	
0,350	0,335	0,685	»	0,19	»	0,79	0,79	4	107,59	85803,03	1,494	21	
0,60	0,59	1,19	»	0,36	»	0,862	0,862	4	107,645	93435,86	2,034	21	
0,999	1,045	2,044	»	0,63	»	0,954	0,954	4	107,7147	103298,397	2,698	»	
1,372	1,435	2,808	»	0,90	»	1,358	1,358	4	108,0138	147330,82	3,207	»	

DIAMÈTRE (EN VERRE).

Section : 0^{m},001,945.

0,022	0,021	0,043	»	0,006	0,20	2,105	1,905	6	0,08451	160,973	0,153	»	
0,080	0,075	0,155	»	0,015	0,13	2,285	2,155	6	*Id.*	182,098	0,312	»	
0,180	0,166	0,346	»	0,057	0,13 0,14	2,143 2,150	4,023	6	*Id.*	339,944	0,485	»	
0,545	0,495	1,040	»	0,160	0,79	2,230	1,440	5	0,723823	1042,305	0,893	»	
1,252	1,333	2,585	»	0,400	0,85	2,404	1,549	5	*Id.*	1121,202	1,478	»	
2,620	2,400	5,02	»	0,835	0,71	2,240	1,530	5	*Id.*	1107,449	2,104	»	

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0^{m},001,013.

0,012	0,013	0,025	0,000	0,005	0,20	2,375	2,175	7	0,00787	18,691	0,051	7	
0,041	0,030	0,071	0,003	0,006	0,20	2,305	2,105	6	0,08451	177,894	0,081	7	
0,102	0,081	0,183	0,005	0,004	0,20	1,604	1,404	6	*Id.*	118,652	0,130	7	
0,370	0,300	0,67	0,017	0,006	0,20	2,016	1,816	6	*Id.*	153,470	0,253	7	
0,86	0,665	1,525	0,045	0,010	0,20	1,842	1,642	6	*Id.*	138,765	0,381	7	
1,835	1,405	3,240	0,085	0,023	0,20	2,18	1,98	6	*Id.*	167,330	0,551	7	
2,305	1,85	4,155	0,115	0,025	0,20	2,02	1,82	6	*Id.*	153,808	0,633	7	

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0^{m},001,042.

0,035	0,036	0,071	0,003	0,003	0,10	1,336	1,236	6	0,08451	106,145	0,113	4	
0,090	0,090	0,180	0,008	0,005	0,10	1,493	1,393	6	*Id.*	117,891	0,188	4	
0,321	0,330	0,651	0,032	0,012	0,10	2,118	2,008	6	*Id.*	169,696	0,387	5	
0,707	0,734	1,441	0,066	0,027	0,10	1,88	1,780	6	*Id.*	150,428	0,601	5	
1,473	1,545	3,018	0,139	0,058	0,19	1,346	1,156	5	0,723823	836,730	0,802	5	
1,932	2,034	3,966	0,164	0,076	0,363	1,435	1,072	5	*Id.*	775,938	1,034	6	
2,259	2,391	4,650	»	»	0,102	1,135	0,973	5	*Id.*	704,280	1,126	6	

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences. Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par les manomètres. 1er manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	2e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	3e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	4e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	5e manomètre sur le cylindre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.
	Longueur : 111m,65.									CONDUITE DE 0m,0795 DE				
		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
122	18 nov. 1850..	2 7 0	2 22 0	15 0	1,40	0,001	1,430	0,002	1,465	0,002	1,465	0,003	1,471	0,003
123	*Idem*.........	2 53 0	3 4 0	11 0	1,416	0,001	1,557	0,005	1,668	0,005	1,075	0,005	1,68	0,005
124	*Idem*.........	3 10 0	3 19 0	9 0	1,49	0,002	1,86	0,050	2,215	0,060	2,23	0,060	2,265	0,060
125	*Idem*.........	3 26 0	3 34 0	8 0	1,625	0,002	2,435	0,02	3,235	0,030	3,265	0,020	3,325	0,02
126	*Idem*.........	3 41 0	3 46 30	5 30	1,79	0,03	3,355	0,02	4,89	0,02	4,945	0,020	5,050	0,03
127	*Idem*.........	4 0 0	4 4 45	4 45	1,985	0,02	4,255	0,01	6,52	0,02	6,615	0,020	6,70	0,02
	Longueur : 111m,65.									CONDUITE DE 0m,0801 DE				
128	3 décemb. 1850.	2 7 0	2 22 0	15 0	1,418	0,002	1,46	0,008	1,502	0,015	1,505	0,010	1,51	0,015
129	*Idem*.........	2 33 0	2 43 0	10 0	1,450	0,002	1,605	0,010	1,753	0,015	1,763	0,015	1,78	0,015
129 *bis.*	29 nov. 1850..	1 46 0	1 54 0	8 0	1,517	»	1,87	»	2.24	»	2,295	»	2,257	»
130	3 décemb. 1850.	2 47 0	2 55 0	8 0	1,513	0,002	1,875	0,015	2,25	0,02	2,27	0,02	2,31	0,02
131	*Idem*.........	3 1 0	3 7 0	0 0	1,603	0,003	2,365	0,002	3,16	0,02	3,205	0,03	3.28	0,02
132	*Idem*.........	3 13 0	3 17 0	4 0	1,742	0,004	3,17	0,003	4,68	0,04	4,76	0,04	4,91	0,04
133	*Idem*.........	3 25 0 3 31 0	3 28 15 3 34 15	6 30	1,677	0,005	4,05	0,002	6,35	0,02	0,46	0,02	6,70	0,02
	Longueur : 111m,586									CONDUITE DE 0m,0819 DE				
134	15 mai 1850...	7 49 0	7 55 0	6 0	1,413	0,001	1,423	0,002	1,433	0,003	1,434	0,003	1,435	0,003
135	*Idem*.........	9 3 0	9 28 48	25 48	1,432	0,001	1,477	0,003	1,515	0,010	1,52	0,010	1,525	0,010
136	*Idem*.........	9 59 0	10 13 0	14 0	1,461	0,001	1,378	0,008	1,693	0,020	1,70	0,020	1,714	0,020
137	15 mai 1850...	10 33 0	10 42 0	9 0	1,503	0,001	1,776	0,025	2,034	0,030	2,055	0,040	2,090	0,040
138	*Idem*.........	11 44 0	11 50 0	6 0	1,56	0,001	2,08	0,020	2,58	0,030	2,62	0,030	2,09	0,030
139	*Idem*.........	12 0 0	12 10 15	4 15	1,605	0,001	2,84	0,020	3,95	0,040	4,055	0,040	4,185	0,040
140	*Idem*.........	1 28 0	1 58 0	30 0	2,032	0,002	3,66	0,020	5.24	0,030	5,0355	0,040	5,375	0,040
141	*Idem*.........	2 26 0	2 54 50	28 50	2,108 2,109	0,004 0,004	4,145 4,155	0,020	0.145 6,165	0,040	6,29 6,31	0,040	0,57 6,50	0,040
142	21 mai 1850...	5 52 0	6 18 0	26 0	2,337	0,000	7,258	0,001	12,084	0,001	12,372	0,001	13,033	0,002
143	23 mai 1850...	1 24 0	1 48 0	25 0	2,307	0,000	7,631	0,002	12.501	0,001	12,947	0,003	13,583	0,008
144	15 mai 1850...	3 46 0	4 9 0	23 0	2,751	0,001	8,857	0,004	14,729	0,004	15,147	0,005	15,995	0,004
145	23 mai 1850...	4 6 0	4 21 0	15 0	3,127	0,000	11,630	0,002	19,934	0,001	20,509	0,001	21,675	0,001
146	15 mai 1850...	4 36 0	4 56 0	20 0	3,15	0,001	11,796	0,001	20.222	0,001	20,843	0,001	21,969	0,001

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0^m,004,96.

PERTES DE CHARGES dues aux résistances. Entre le 1er et le 2e manomètre.	Entre le 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	HAUTEUR DE L'EAU dans les bassins de jauge. Au commencement.	A la fin.	Différence.	Nombre des bassins.	SECTION des bassins.	DÉBIT de la conduite.	Vitesses moyennes par seconde.	Température de l'eau.	OBSERVATIONS.
mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.		mét.	litres.	mét.	degr.	
0,039	0,026	6,065	»	6,006	6,28	1,04	0,76	5	0,723823	550,105	0,123	»	
0,139	6,111	0,250	6,007	0,005	6,285	1,422	1,137	5	*Id.*	822,987	6,251	»	
6,37	6,355	0,725	6,015	0,635	0,245	1,898	1,653	5	*Id.*	1196,479	6,446	»	
6,810	6,800	1,616	0,030	0,060	6,25	2,48	2,23	5	*Id.*	1614,125	0,678	»	
1,565	1,535	3,100	0,655	0,185	6,215	2,32	2,105	5	*Id.*	1523,047	0,931	»	
2,270	2,265	4,535	0,095	0,145	0.17	2,40	2,23	5	*Id.*	1614,125	1,142	»	

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0^m,005,035.

0,042	0,042	0,084	0,003	0,005	0,23	1,437	1,207	5	0,723823	875,654	6,193	»	
0,146	0,148	0,294	0,010	0.615	0,176	1,799	1,623	5	*Id.*	1174,765	6,385	»	
6,355	0,370	0,723	»	»	6,288	2,34	2,052	5	*Id.*	1485,285	0,014	»	
0,362	0,375	0,737	6,020	0,040	6,184	2,26	2,076	5	*Id.*	1502,657	6,624	»	
0,762	0,795	1,557	0,045	6,075	0,105	2,27	2,165	5	*Id.*	1567,077	0,864	»	
1,428	1,51	2,938	6,08	0,15	6,164	2,248	2,084	5	*Id.*	1508,447	1,248	»	
2,173	2,30	4,473	6,11	6,24	0,197 0,167	2,27 2,235	4,141	5	*Id.*	2997,351	1,526	»	

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0^m,005,268.

6,01	0,01	0,02	0,001	0,001	6,15	2,123	1,973	6	0,08401	166,738	0,088	16	
0,045	6,038	0,083	6,005	0,005	6,172	2,103	1,931	5	0,723823	1397,702	6,171	16	
0,117	0,115	0,232	6,007	0,614	0,214	2,400	2,186	5	*Id.*	1582,277	0,358	16	
0,273	0,258	6,531	0,021	6,035	0,24	2,444	2,204	5	*Id.*	1595,306	6,561	15 1/3	
0,520	0,50	1,02	6,04	6,070	6,278	2,350	2,072	5	*Id.*	1499,761	0,791	15 1/3	
1,145	1,110	2,255	0,105	0,130	0,23	2,430	2,20	5	*Id.*	1592,411	1,185	15 1/5	
1,628	1,580	3,208	6,115	0,22	0,43	0,065	0,335	1	25,14	13449,90	1,418	15	
2,0515	1,99	4,0415	0,150	0,28	0,27	0,84	0,57	1	25,102	14306,14	1,571	15	
4,721	4,826	9,547	0,288	0,661	0,53	1,33	0,80	1	25,199	20159,20	2,453	17 5	
5,034	4,870	0,904	0,446	0,636	6,53	1,31	0,78	1	25,199	19655,22	2,487	18	
5,106	5,872	11,078	0,418	0,848	6,35	1,136	0,786	1	25,158	10774,188	2,720	14	
8,503	8,304	16,807	0,605	1,076	6,64	1,249	0,609	1	25,206	»	3,238	18 5	
8,646	8,426	17,072	0,641	1,106	0,40	1,22	6,82	1	25,169	20638,58	3,265	14	

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences.			Charges accusées par les manomètres.									
					1er manomètre.		2e manomètre.		3e manomètre.		4e manomètre.		5e manomètre sur le cylindre.	
		Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.
Longueur : 111m,477.									CONDUITE DE 0m,137 DE					
		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.
147	17 mai 1850..	8 16 0	8 28 0	12 0	1,446	0,001	1,458	0,001	1,470	0,03	1,471	0,010	1,474	0,010
148	*Idem*.......	8 53 0	8 59 0	6 0	1,478	0,002	1,527	0,001	1,565	0,012	1,566	0,015	1,575	0,015
149	*Idem*.........	9 49 0	9 52 0	3 0	1,508	0,002	1,62	0,003	1,717	0,015	1,724	0,015	1,744	0,015
150	*Idem*........	10 32 0	11 2 0	30 0	1,797	0,001	2,048	0,015	2,272	0,010	2,285	0,015	2,338	0,020
151	*Idem*........	1 12 0	1 29 0	17 0	1,895	0,004	2,565	0,010	3,155	0,010	3,202	0,015	3,335	0,015
152	*Idem*.........	2 12 0	2 26 0	14 0	2,02	0,004	3,20	0,010	4,245	0,015	4,325	0,010	4,565	0,010
153	*Idem*........	3 1 0	3 12 0	11 0	2,137	0,006	3,895	0,010	5,455	0,010	5,585	0,020	5,93	0,030
154	*Idem*........	3 40 0	3 50 0	10 0	2,20	0,008	4,265	0,015	6,105	0,027	6,26	0,002	6,665	0,020
155	18 mai 1850...	2 43 0	3 12 0	29 0	2,832	0,001	7,994	0,006	12,684	0,010	13,027	0,006	14,051	0,004
156	*Idem*..........	3 42 0	4 17 0	35 0	3,568	0,002	12,355	0,003	20,324	0,002	20,810	0,002	22,621	0,001
Longueur : 111m,373.									CONDUITE DE 0m,188 DE					
157	28 août 1850..	1 49 0	2 21 0	32 0	1,738	0,001	1,752	0,010	1,765	0,010	1,770	0,010	1,775	0,010
158	*Idem*..........	2 46 0	3 4 0	18 0	1,765	0,002	1,85	0,02	1,940	0,020	1,95	0,020	1,96	0,020
159	*Idem*..........	4 26 0	4 40 0	14 0	1,792	0,002	1,98	0,02	2,160	0,02	2,177	0,02	2,225	0,020
160	*Idem*..........	5 9 0	5 18 0	9 0	1,840	0,002	2,26	0,01	2,645	0,01	2,665	0,01	2,780	0,010
161	*Idem*..........	6 7 0	6 47 0	40 0	1,890	0,003	2,59	0,03	3,23	0,02	3,30	0,03	3,455	0,040
162	29 août 1850	1 45 0	2 39 0	54 0	1,97	0,005	3,13	0,04	4,22	0,05	4,32	0,00	4,60	0,050
163	*Idem*..........	4 39 0	5 7 0	28 0	2,10	0,001	4,055	0,04	5,91	0,05	6,10	0,06	6,56	0,050
164	*Idem*..........	6 46 0	7 9 0	23 0	2,628	0,001	8,332	0,003	13,608	0,003	14,283	0,003	15,621	0,003
165	*Idem*..........	5 25 0	5 50 0	25 0	2,856	0,001	10,379	0,004	17,447	0,004	18,177	0,004	19,951	0,004
165 *bis*	31 août 1850 (A)	8 18 0	8 48 0	30 0	1,767	0,001	21,973	»	»	»	»	»	»	»

(A) Cette expérience a été faite avec un diaphragme en cuivre d'une ouverture de 3 centimètres, courbe du tuyau de 0m,188 : elle a été faite, comme on le verra plus tard, dans un autre but que

Longueur : 111m,358.									CONDUITE DE 0m,2432 DE					
166	24 sept. 1850..	2 24 0	2 46 0	22 0	1,761	0,001	1,810	0,015	1,855	0,015	1,860	0,015	1,870	0,015
167	24 sept. 1850..	3 20 0	3 33 0	13 0	1,781	0,001	1,885	0,01	1,983	0,01	1,992	0,01	2,010	0,01
168	*Idem*..........	4 37 0	5 7 0	30 0	1,817	0,001	2,055	0,02	2,290	0,02	2,310	0,02	2,35	0,02
169	*Idem*..........	5 23 0	5 56 0	33 0	1,885	0,010	2,470	0,04	3,035	0,04	3,095	0,05	3,180	0,05
170	27 sept. 1850..	8 35 0	9 3 0	28 0	1,98	0,010	3,140	0,04	4,27	0,05	4,390	0,05	4,560	0,05
171	*Idem*..........	9 26 0	10 5 0	39 0	2,05	0,020	3,670	0,04	5,25	0,05	5,420	0,05	5,650	0,05
172	*Idem*..........	10 42 0	11 19 0	37 0	2,115	0,010	4,200	0,05	6,22	0,06	6,440	0,06	6,740	0,06
173	28 sept. 1850..	4 32 30	4 52 30	20 0	2,740	0,002	9,894	0,002	16,721	0,002	17,502	0,002	18,725	0,002

PERTES DE CHARGES dues aux résistances.					HAUTEUR DE L'EAU dans les bassins de jauge.			NUMÉROS DES BASSINS.	SECTION des bassins.	DÉBIT de la conduite.	VITESSE MOYENNE PAR SECONDE.	TEMPÉRATURE DE L'EAU.	OBSERVATIONS.
Entre le 1er et le 2e manomètre.	Entre le 2e et le 3e manomètre.	Entre le 1er et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e et le 5e manomètre.	Au commencement.	A la fin.	Différence.						

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0m,014,776.

mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	litres.	mèt.	degr.	
0,012	0,012	0,024	0,001	0,003	0,24	2,43	2,19	5	0,723623	1585,172	0,149	15	
0,049	0,038	0,087	0,001	0,009	0,16	2,351	2,191	5	Id.	1585,896	0,298	15 1/3	
0,112	0,097	0,209	0,007	0,020	0,190	1,985	1,795	5	Id.	1299,262	0,488	15 1/3	
0,251	0,224	0,475	0,013	0,053	0,54	1,345	0,805	1	25,206	20290,830	0,763	15	
0,670	0,590	1,260	0,047	0,133	0,54	1,225	0,765	1	25,196	19275,940	1,279	15 1/3	
1,180	1,045	2,225	0,080	0,240	0,51	1,354	0,844	1	25,201	21269,644	1,714	15	
1,758	1,560	3,318	0,130	0,345	0,50	1,312	0,812	1	25,195	20458,340	2,098	15 1/2	
2,065	1,840	3,905	0,155	0,405	0,60	1,401	0,801	1	25,224	20220,444	2,281	16	
5,162	4,690	9,852	0,353	1,014	»	0,855	0,855	4	107,040	93592,98	3,640	15	
8,787	7,969	16,756	0,486	1,811	»	1,331	1,331	4	107,9986	145036,112	4,693	15 1/4	

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0m,027,76.

0,014	0,013	0,027	0,005	0,005	0,50	0,921	0,421	1	25,1431	10585,245	0,205	»	
0,085	0,090	0,175	0,010	0,010	0,60	1,191	0,591	1	25,1927	14888,886	0,497	»	
0,188	0,180	0,368	0,017	0,048	0,55	1,252	0,702	1	25,194	17680,188	0,758	»	
0,420	0,385	0,805	0,020	0,115	0,70	1,37	0,67	1	25,2295	16903,765	1,128	»	
0,700	0,640	1,340	0,070	0,155	»	0,901	0,901	4	107,6747	99168,34	1,488	»	
1,160	1,090	2,25	0,100	0,280	»	1,58	1,58	4	108,1813	173847,35	1,933	»	
1,955	1,855	3,81	0,190	0,400	»	1,07	1,07	4	107,8047	116860,29	2,506	»	
5,704	5,276	10,980	0,675	1,338	»	1,52	1,52	4	108,136	165410,28	4,323	»	
7,523	7,068	14,591	0,730	1,774	»	1,88	1,88	4	108,418	205181,06	4,928	»	
»	»	»	»	»	0,50	1,187	0,687	1	25,1789	17297,904	0,346	»	

et placé à 11 mètres environ du manomètre n° 1. Cette expérience n'a point été rapportée sur la celui de la détermination de la relation existant entre les pentes et les vitesses.

DIAMÈTRE (EN FONTE).

Section : 0m,040,466.

0,049	0,045	0,094	0,005	0,010	0,50	1,248	0,748	1	25,1867	18839,652	0,307	»	
0,104	0,098	0,202	0,009	0,018	0,55	1,20	0,65	1	Id.	16371,68	0,452	»	
0,238	0,235	0,473	0,020	0,040	»	0,536	0,536	4	107,3914	59172,66	0,707	»	
0,585	0,565	1,150	0,060	0,085	»	0,928	0,928	4	107,695	101717,93	1,106	»	
1,160	1,130	2,290	0,120	0,170	»	1,105	1,105	4	107,8312	120663,11	1,547	»	
1,620	1,580	3,200	0,170	0,230	»	1,820	1,820	4	108,3719	199330,11	1,833	»	
2,085	2,020	4,105	0,220	0,300	»	1,953	1,953	4	108,4745	213857,48	2,073	»	
7,154	6,827	13,981	0,781	1,223	»	1,96	1,96	4	108,4798	213705,206	3,833	»	

Numéros d'ordre des expériences.	Dates.	Durée des expériences. Heure au commencement.	Heure à la fin.	Différence.	Charges accusées par les manomètres. 1er manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	2e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	3e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	4e manomètre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.	5e manomètre sur le cylindre. Charges accusées par l'eau ou par le mercure.	Oscillations.
Longueur : $111^{m},358$.									CONDUITE DE $0^{m},2447$ DE					
		h. m. s.	h. m. s.	m. s.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.
174	5 octobre 1850.	9 2 0	9 32 15	30 15	1,758	0,001	1,765	0,01	1,81	0,01	1,815	0,01	1,82	0,01
175	*Idem*.	10 0 0	10 14 0	14 0	1,79	0,002	1,875	0,03	1,935	0,03	1,965	0,03	1,985	0,03
176	*Idem*.	11 45 0	12 18 0	33 0	1,842	0,004	2,095	0,04	2,34	0,04	2,37	0,04	2,435	0,04
177	*Idem*.	12 43 0	12 58 0	15 0	1,915	0,01	2,505	0,05	3,07	0,05	3,125	0,05	3,27	0,05
178	7 octobre 1850.	9 7 0	9 39 0	32 0	2,025	0,01	3,06	0,05	4,06	0,05	4,18	0,05	4,435	0,06
179	*Idem*.	12 52 0	1 28 0	36 0	2,095	0,02	3,48	0,08	4,83	0,10	4,99	0,12	5,31	0,12
180	*Idem*.	1 47 0	2 16 0	29 0	2,19	0,02	4,08	0,08	5,92	0,12	6,14	0,12	6,60	0,12
181	*Idem*	3 11 0	3 27 0	16 0	2,862	0,001	6,700	0,003	14,205	0,01	14,900	0,01	16,334	0,01
Longueur : $111^{m},335$.									CONDUITE DE $0^{m},297$ DE					
182	6 juin 1850 . .	9 37 0	9 57 0	20 0	1,762	0,001	1,78	0,005	1,790	0,003	1,791	0,003	1,797	0,005
183	*Idem*.	10 42 0	10 49 0	7 0	1,801	0,001	1,865	0,03	1,92	0,02	1,925	0,003	1,95	0,02
184	*Idem*.	11 24 0	12 9 0	45 0	1,836	0,001	1,98	0,04	2,105	0,04	2,125	0,04	2,18	0,04
185	*Idem*.	12 20 0	12 42 0	22 0	1,878	0,002	2,16	0,04	2,415	0,05	2,44	0,05	2,55	0,04
186	*Idem*.	12 49 0	1 5 0	16 0	1,95	0,006	2,52	0,06	3,005	0,07	3,12	0,08	3,34	0,08
187	16 juin 1850 . .	2 54 0	3 6 0	12 0	2,035	0,02	3,19	0,04	4,36	0,06	4,55	0,06	4,97	0,04
188	6 juin 1850. . .	1 55 0	2 1 45	6 45	2,14	0,02	3,50 3,75	0,03	5,30 5,30	0,04	5,61 5,49	0,04	6,20 6,08	0,04
189	18 juin 1850	2 24 0	2 36 0	12 0	2,20 2,179	0,02	4,223 4,325	0,06	6,27 6,322	0,06	6,62 6,553	0,08	» 7,191	»
Longueur : $111^{m},353$.									CONDUITE DE $0^{m},50$ DE					
190	2 août 1850. . .	4 13 0	4 28 0	15 0	1,915	0,004	1,94	0,03	1,96	0,02	1,965	0,02	1,975	0,03
191	29 juillet 1850.	6 2 0	6 17 0	15 0	1,935	0,005	1,96	0,04	1,98	0,01	1,98	0,01	1,995	0,02
192	5 août 1850. . .	4 30 0	5 7 0	37 0	1,96	0,005	1,99	0,02	2,02	0,02	2,02	0,02	2,035	0,02
193	29 juillet 1850.	5 38 0	5 51 0	13 0	2,18	0,01	2,24	0,06	2,30	0,03	2,30	0,03	2,35	0,04
194	2 août 1850. . .	4 47 0	5 7 0	20 0	2,22	0,02	2,285	0,04	2,343	0,03	2,35	0,01	2,40	0,03
195	5 août 1850. . .	5 27 0	5 42 0	15 0	2,42	0,02	2,52	0,04	2,63	0,03	2,64	0,03	2,70	0,03
196	2 août 1850. . .	5 49 0	6 2 0	13 0	2,49	0,02	2,61	0,06	2,72	0,02	2,73	0,01	2,59	0,05
197	5 août 1850. . .	6 11 0	6 27 0	16 0	2,48	0,02	2,61	0,07	2,74	0,03	2,75	0,03	2,81	0,04
198	29 juillet 1850.	4 47 0	5 0 0	13 0	2,50	0,02	2,64	0,10	2,75	0,04	2,75	0,04	2,84	0,06

DIAMÈTRE (EN FONTE).

SECTION : 0m,047,034.

Pertes de charges dues aux résistances : Entre le 1er et le 2e manomètre	Entre le 2e et le 3e manomètre	Entre le 1er et le 3e manomètre	Entre le 3e et le 5e manomètre	Entre le 4e et le 5e manomètre	Hauteur de l'eau dans les bassins de jauge : Au commencement	À la fin	Différence	Numéros des bassins	Section des bassins	Débit de la conduite	Vitesse moyenne par seconde	Température de l'eau	Observations
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	litres.	mèt.	degr.	
0,027	0,025	0,052	0,005	0,005	0,49	1,50	1,01	1	25,2188	25470,99	0,278	»	
0,085	0,080	0,165	0,010	0,020	0,60	1,44	0,84	1	25,2263	21190,09	0,337	»	
0,253	0,245	0,498	0,030	0,065	0,10	0,903	0,803	4	107,8215	38359,72	0,949	»	
0,590	0,565	1,155	0,055	0,145	»	0,55	0,550	4	107,402	59071,10	1,420	»	
1,035	1,000	2,035	0,120	0,255	»	1,572	1,572	4	108,1768	171784,76	1,904	»	
1,385	1,350	2,735	0,160	0,320	»	2,045	2,045	4	108,5415	223921,11	2,206	»	
1,890	1,840	3,730	0,220	0,460	»	1,925	1,925	4	108,4534	210345,37	2,572	»	
5,838	5,505	11,343	0,701	1,428	0,10	1,960	1,86	4	108,6251	202911,69	4,497	»	

DIAMÈTRE (EN FONTE).

SECTION : 0m,069,3.

Entre le 1er et le 2e manomètre	Entre le 2e et le 3e manomètre	Entre le 1er et le 3e manomètre	Entre le 3e et le 5e manomètre	Entre le 4e et le 5e manomètre	Au commencement	À la fin	Différence	Numéros des bassins	Section des bassins	Débit de la conduite	Vitesse moyenne par seconde	Température de l'eau	Observations
0,018	0,010	0,028	0,001	0,006	0,52	1,325	0,805	1	25,207	20291,635	0,244	22	
0,064	0,055	0,119	0,005	0,025	0,79	1,41	0,62	1	25,246	15652,52	0,338	22	
0,144	0,125	0,269	0,020	0,055	»	1,402	1,402	4	108,047	154912,95	0,823	22	
0,282	0,255	0,537	0,025	0,110	»	0,97	0,97	4	107,525	105680,187	1,155	22	
0,57	0,535	1,105	0,055	0,220	»	1,01	1,01	4	107,756	109695,61	1,652	22	
1,135	1,170	2,305	0,190	0,42	»	1,10	1,10	4	107,8242	119253,565	2,390	20 5	
1,635	1,570	3,205	0,205	0,59	1,643	2,353	0,71	4	110,070	78562,46	2,799	»	
2,023 2,146	2,047 1,997	4,07 4,143	0,35 0,231	» 0,638	»	1,453	1,453	4	108,0790	157087,261	3,160	20 5	

DIAMÈTRE (EN FONTE).

SECTION : 0m,196,35.

Entre le 1er et le 2e manomètre	Entre le 2e et le 3e manomètre	Entre le 1er et le 3e manomètre	Entre le 3e et le 5e manomètre	Entre le 4e et le 5e manomètre	Au commencement	À la fin	Différence	Numéros des bassins	Section des bassins	Débit de la conduite	Vitesse moyenne par seconde	Température de l'eau	Observations
0,025	0,02	0,045	0,005	0,010	»	0,6915	0,6915	4	107,5012	74343,303	0,4207	»	
0,025	0,02	0,045	»	0,015	»	0,7375	0,7375	4	107,5430	79314,437	0,4488	»	
0,03	0,03	0,06	»	0,015	»	1,9105	1,9105	4	108,427	207149,784	0,4752	»	
0,06	0,06	0,12	»	0,05	»	1,1265	1,1265	4	107,8425	121484,576	0,7932	»	
0,065	0,06	0,125	0,005	0,05	»	1,73	1,73	4	108,287	187336,51	0,7951	»	
0,10	0,11	0,21	0,01	0,05	»	1,6995	1,6995	4	108,261	204333,000	1,0412	»	
0,12	0,11	0,23	0,01	0,07	»	1,5765	1,5765	4	108,1738	170538,996	1,1135	»	
0,13	0,13	0,20	0,01	0,06	»	1,946	1,946	4	108,4631	211069,19	1,1197	»	
0,14	0,11	0,25	»	0,09	»	1,5965	1,5965	4	108,1869	172723,579	1,1278	»	

Pour compléter tous les éléments nécessaires à l'intelligence des calculs auxquels ces expériences vont donner lieu, je ferai suivre leur exposé d'un tableau indicatif des distances comprises entre le réservoir et les différents manomètres.

TUYAUX		Nos D'ORDRE.	Entre le cylindre d'arrivée et le 1er manomètre.	Entre le 1er et le 2e manomètre.	Entre le 2e et le 3e manomètre.	Entre le 3e et le 4e manomètre.	Entre le 4e manomètre et le cylindre réservoir.
DIAMÈTRE.	NATURE.						
mèt			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,0122	Fer étiré.	1	8,13	50,00	50,00	5,883	0,167
0,0266		2	8,35	50,00	50,00	4,805	0,30
0,0395		3	8,40	50,00	50,00	4,67	0,29
0,014	Plomb.	4	0,32	25,00	25,00	1,41	0,71
0,027		5	0,34	25,00	25,00	1,50	0,70
0,041		6	0,35	25,00	25,00	1,50	0,70
0,0268	Tôle et bitume.	7	8,19	50,00	50,00	4,85	0,30
0,0826		8	6,27	50,00	50,00	4,72	0,28
0,196		9	6,54	50,00	50,00	4,477	0,33
0,285		10	6,374	50,00	50,00	4,705	0,315
0,04968	Verre.	11	»	21,57	23,29	»	»
0,0359	Fonte.	12	8,765	50,00	50,30	5,21	0,285
0,0364		13	8,765	50,00	50,00	5,21	0,285
0,0795		14	6,73	50,00	50,00	4,74	0,18
0,0801		15	6,73	50,00	50,00	4,74	0,18
0,0819		16	6,59	50,00	50,00	4,716	0,25
0,137		17	6,297	50,00	50,00	4,73	0,45
0,188		18	6,78	50,00	50,00	4,293	0,30
0,2432		19	6,912	50,00	50,00	4,17	0,276
0,2447		20	6,912	50,00	50,00	4,17	0,276
0,29765		21	6,27	50,00	50,00	4,765	0,30
0,50		22	6,353	50,00	50,00	4,70	0,30

Tels sont les résultats des 198 expériences ayant pour but :

1° De déterminer les relations existant entre les pentes, les vitesses moyennes et les diamètres des conduites;

2° De donner les pertes de charge nécessaires à la production des vitesses moyennes lors de l'introduction de l'eau dans les tuyaux.

Nous commencerons d'abord par rechercher les relations qui lient entre eux les pentes, les vitesses et les diamètres.

Pour atteindre ce but, nous allons présenter pour chaque conduite un tableau indiquant la série des charges données par mètre, et les vitesses par seconde correspondantes.

Pour les conduites en plomb 4, 5, 6, les pentes ou charges par mètre s'obtiendront en divisant par 50 les chiffres des colonnes 18.

Pour la conduite en verre 11, le diviseur deviendra 44,86.

Pour toutes les autres conduites, il sera 100,00.

Ces diviseurs, comme on doit se le rappeler, représentent la distance existant entre le 1[er] et le 3[e] manomètre; le 2[e] manomètre a toujours été placé au milieu des manomètres 1 et 3.

Dans la conduite en verre, seulement, la distance du 1[er] au 2[e] manomètre était de . . . . 21^{m},57
du 2[e] au 3[e], de . . . . 23 ,29

TOTAL. 44, 86

1° CONDUITES EN FER ÉTIRÉ.

N[os] d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE 0^{m},0122 (1).		N[os] d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE 0^{m},0266 (2).		N[os] d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE 0^{m},0395 (3).		OBSERVATIONS.
	Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.	
	mét.	mét.		mét.	mét.		mét.	mét.	
1	0,00085	0,0344	14	0,00033	0,0578	27	0,00022	0,0626	(1) Voy. planche V
2	0,00184	0,0718	15	0,00152	0,1310	28	0,00078	0,1112	(2) Ibid. (3) Ibid
3	0,00304	0,1170	16	0,00487	0,2480	29	0,00182	0,1848	
4	0,00533	0,1470	17	0,01015	0,3680	30	0,00336	0,2616	
5	0,00754	0,1690	18	0,01937	0,5220	31	0,00650	0,3817	
6	0,01650	0,2300	19	0,03126	0,6670	32	0,01286	0,5594	
7	0,02580	0,2870	20	0,04348	0,7960	33	0,02389	0,7878	
8	0,03472	0,3430	21	0,06316	0,9610	34	0,03123	0,9149	
9	0,04399	0,3920	22	0,10022	1,2350	35	0,04348	1,0951	
10	0,06264	0,4780	23	0,10571	1,2810	36	0,12315	1,9205	
11	0,08554	0,5730	24	0,17826	1,6820	37	0,17553	2,3055	
12	0,17862	0,8460	25	0,25601	1,9980	38	0,22408	2,5971	
13	0,34426	1,1950	26	0,30952	2,1840				

2° CONDUITES EN PLOMB.

Nos d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,014$ (1).		Nos d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,027$ (2).		Nos d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,041$ (3).		OBSERVATIONS.
	Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.	
	mét.	mét.		mét.	mét.		mét.	mét.	
39	0,00064	0,010	46	0,00044	0,063	53	0,00082	0,120	(1) Voy. planche V.
40	0,00336	0,165	47	0,00300	0,188	54	0,00362	0,276	(2) *Ibid.*
41	0,00862	0,246	48	0,00814	0,322	55	0,00778	0,488	(3) *Ibid.*
42	0,02526	0,446	49	0,02268	0,597	56	0,02310	0,792	
43	0,06146	0,732	50	0,05436	1,021	57	0,05600	1,316	
44	0,11438	1,048	51	0,10500	1,438	58	0,11074	1,925	
45	0,16148	1,290	52	0,14632	1,679	59	0,13880	2,305	

3° CONDUITES EN TÔLE ET BITUME.

Nos d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,0268$ (1).		Nos d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,0526$ (2).		Nos d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,196$ (3).		Nos d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,285$ (4).		OBSERVATIONS.
	Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.	
	mét.	mét.		mét.	mét.		mét.	mét.		mét.	mét.	
60	0,00022	0,030	72	0,00027	0,100	84	0,00020	0,180	95	0,00070	0,395	(1) Voy. pl. VI.
61	0,00067	0,092	73	0,00066	0,176	85	0,00048	0,278	96	0,00255	0,848	(2) *Ibid.*
62	0,00225	0,155	74	0,00203	0,357	86	0,00129	0,466	97	0,00433	1,179	(3) *Ibid*
63	0,00609	0,271	75	0,00629	0,605	87	0,00330	0,780	98	0,00685	1,494	(4) *Ibid*
64	0,01133	0,384	76	0,01220	0,950	88	0,00560	1,076	99	0,01190	2,034	
65	0,02115	0,567	77	0,02285	1,354	89	0,01190	1,657	100	0,02044	2,698	
66	0,03033	0,678	78	0,03107	1,613	90	0,01200	1,679	101	0,02807	3,207	
67	0,04540	0,853	79	0,04070	1,874	91	0,02100	2,259				
68	0,11846	1,467	80	0,07170	2,372	92	0,02970	2,743				
69	0,17983	1,839	81	0,10634	3,211	93	0,03640	3,052				
70	0,24419	2,203	82	0,13880	3,668	94	0,12156	6,010				
71	0.30714	2,507	83	0,15605	3,897							

4° CONDUITE EN VERRE.

NUMÉROS D'ORDRE des expériences.	DIAMÈTRE DE $0^m,04968$ (1).		OBSERVATIONS
	PENTES.	VITESSES.	
	mét.	mét.	
102	0,00096	0,153	(1) Voyez la planche VI.
103	0,00345	0,312	
104	0,00771	0,485	
105	0,02318	0,893	
106	0,05762	1,478	
107	0,11191	2,108	

5° CONDUITES EN FONTE.

Numéros d'ordre des expériences.	Chargée de dépôts. Diamètre de 0m,0359 (1).		Numéros d'ordre des expériences.	La même nettoyée. Diamètre de 0m,0364 (2).		Numéros d'ordre des expériences.	Chargée de dépôts. Diamètre de 0m,0795 (3).		Numéros d'ordre des expériences.	La même nettoyée. Diamètre de 0m,0801 (4).		Observations.
	Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.	
	mét.	mét.		mét.	mét		mét.	mét.		mét.	mét.	
108	0,00025	0,051	115	0,00071	0,113	122	0,00065	0,123	128	0,00084	0,193	(1) Voy. pl. VI
109	0,00071	0,081	116	0,00180	0,188	123	0,00250	0,251	129	0,00294	0,355	(2) *Ibid.*
110	0,00183	0,130	117	0,00651	0,387	124	0,00725	0,446	129 *bis.*	0,00723	0,614	(3) *Ibid.*
111	0,00670	0,253	118	0,01441	0,601	125	0,01610	0,678	130	0,00737	0,624	(4) *Ibid*
112	0,01525	0,381	119	0,03018	0,892	126	0,03100	0,931	131	0,01557	0,864	
113	0,03240	0,551	120	0,03066	1,034	127	0,04535	1,142	132	0,02938	1,248	
114	0,04153	0,633	121	0,04650	1,126				133	0,04473	1,526	

6° CONDUITES EN FONTE NEUVE.

Nos d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,0819 (1).		Nos d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,137 (2).		Nos d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,188 (3).		Observations.
	Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.	
	mét.	mét.		mét.	mét.		mét.	mét.	
134	0,00020	0,068	147	0,00024	0,140	157	0,00027	0,205	(1) Voy. pl. VI.
135	0,00063	0,171	148	0,00087	0,298	158	0,00175	0,497	(2) Voy. pl. VII.
136	0,00232	0,358	149	0,00209	0,488	159	0,00368	0,758	(3) *Ibid.*
137	0,00531	0,561	150	0,00475	0,763	160	0,00805	1,128	
138	0,01020	0,791	151	0,01260	1,279	161	0,01340	1,488	
139	0,02255	1,185	152	0,02250	1,714	162	0,02250	1,933	
140	0,03208	1,418	153	0,03318	2,098	163	0,03810	2,506	
141	0,04042	1,571	154	0,03905	2,281	164	0,10980	4,323	
142	0,09547	2,453	155	0,09852	3,640	165	0,14591	4,928	
143	0,09904	2,487	156	0,16756	4,093				
144	0,11978	2,720							
145	0,16807	3,238							
146	0,17072	3,265							

7° CONDUITES EN FONTE.

Numéros d'ordre des expériences.	Chargée de dépôts.		Numéros d'ordre des expériences.	La même nettoyée.		Numéros d'ordre des expériences.	Bien nettoyée.		Numéros d'ordre des expériences.	Neuve.		Observations.
	Diametre de 0^m,2432 (1).			Diametre de 0^m,2447 (2).			Diametre de 0^m,297 (3).			Diametre de 0^m,50 (4).		
	Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.		Pentes.	Vitesses.	
	mét.	mét.		mét.	mét.		mét.	mét.		mét.	mét.	
166	0,00094	0,307	174	0,00052	0,278	182	0,00028	0,244	190	0,00045	0,4207	(1) Voy. pl. VII.
167	0,00202	0,452	175	0,00165	0,537	183	0,00119	0,538	191	0,00045	0,4488	(2) *Ibid.*
168	0,00473	0,707	176	0,00498	0,949	184	0,00269	0,823	192	0,00060	0,4752	(3) *Ibid.*
169	0,01150	1,106	177	0 01155	1,420	185	0,00537	1,155	193	0,00120	0,7932	(4) *Ibid.*
170	0,02290	1,547	178	0,02035	1,904	186	0,01106	1,652	194	0,00125	0,7951	
171	0,0320	1,833	179	0,02735	2,206	187	0,02306	2,390	195	0,00210	1,0412	
172	0,04105	2,073	180	0,03730	2,572	188	0,03205	2,799	196	0,00230	1,1135	
173	0,13981	3,833	181	0,11343	4,497	189	0,04070	3,160	197	0,00260	1,1197	
									198	0,00250	1,1278	

En présence des résultats si variés que ces tableaux présentent, non-seulement en ce qui concerne les pentes ou charges qui s'élèvent depuis 0^m,0002 2 jusqu'à 0^m,34426 par mètre, et les vitesses qui s'étendent entre 0^m,0344 par seconde et 6^m,01, mais encore en ce qui touche la nature des tuyaux et l'état de leurs surfaces, on devait se demander si la formule unique de Prony répondait à tous les cas, comme il le supposait lui-même.

Et d'abord, la simple inspection des résultats relatifs aux conduites de 0^m,0359 et 0^m,0364, de 0^m,0795 et 0^m,0801, de 0^m,2432 et 0^m,2447 démontre que, lorsque les tuyaux sont recouverts d'un léger enduit calcaire, la vitesse moyenne diminue très-notablement.

Les coefficients de la formule de Prony, loin d'être constants, devraient donc varier très-notablement avec l'état des surfaces. Les tableaux suivants, dans lesquels j'ai mis en rapport,

1° Les vitesses déduites de la formule de Prony avec celles données par l'expérience,

2° Les charges tirées de la même formule, et correspondant aux

vitesses expérimentales avec les pentes qui ont produit ces dernières,

Montreront les coïncidences et les écarts de la formule connue,

$$0{,}0000173314\, v + 0{,}000348259\, v^2 = \frac{1}{4} D j$$

CONDUITES EN FER ÉTIRÉ.

DIAMÈTRE DE 0^m,0122.				DIAMÈTRE DE 0^m,0266.				DIAMÈTRE DE 0^m,0395.			
		FORMULE DE PRONY.				FORMULE DE PRONY.				FORMULE DE PRONY.	
PENTES par mètre.	VITESSES expéri-mentales.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTES par mètre.	VITESSES expéri-mentales.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTES par mètre.	VITESSES expéri-mentales.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00085	0,0344	0,00026	0,055	0,00033	0,0378	0,00035	0,06	0,00022	0,0626	0,00023	0,06
0,00184	0,0718	0,00095	0,105	0,00152	0,1310	0,00122	0,15	0,00078	0,1112	0,00062	0,125
0,00304	0,1170	0,00233	0,14	0,00487	0,2480	0,00392	0,28	0,00182	0,1848	0,00152	0,20
0,00533	0,1470	0,00305	0,19	0,01015	0,3680	0,00814	0,415	0,00336	0,2616	0,00284	0,285
0,00754	0,1690	0,00426	0,23	0,01937	0,5220	0,01552	0,58	0,00650	0,3817	0,00576	0,37
0,01659	0,2300	0,00734	0,355	0,03126	0,6670	0,02525	0,75	0,01286	0,5594	0,01204	0,58
0,02580	0,2870	0,01125	0,45	0,04348	0,7960	0,03561	0,885	0,02389	0,7878	0,02339	0,80
0,03472	0,3430	0,01515	0,53	0,06316	0,9610	0,05077	1,07	0,03123	0,9149	0,03109	0,915
0,04399	0,3920	0,01957	0,595	0,10022	1,2350	0,08310	1,36	0,04348	1,0951	0,04524	1,085
0,06264	0,4780	0,02905	0,715	0,10571	1,2810	0,08914	1,395	0,12315	1,9205	0,13338	1,84
0,08554	0,5730	0,04033	0,84	0,17826	1,6820	0,15218	1,82	0,17553	2,3055	0,19142	2,205
0,17862	0,8460	0,08633	1,225	0,25601	1,9980	0,21469	2,185	0,22406	2,5971	0,24294	2,50
0,34426	1,1950	0,16084	1,71	0,30952	2,1840	0,25456	2,405				

CONDUITES EN PLOMB.

DIAMÈTRE DE 0^m,014.				DIAMÈTRE DE 0^m,027.				DIAMÈTRE DE 0^m,041.			
		FORMULE DE PRONY.				FORMULE DE PRONY.				FORMULE DE PRONY.	
PENTES par mètre.	VITESSES expéri-mentales.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTES par mètre.	VITESSES expéri-mentales.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTES par mètre.	VITESSES expéri-mentales.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00064	0,040	0,00037	0,06	0,00044	0,065	0,00039	0,07	0,00082	0,120	0,00069	0,13
0,00336	0,165	0,00351	0,16	0,00300	0,188	0,00236	0,22	0,00362	0,276	0,00314	0,30
0,00862	0,246	0,00720	0,27	0,00814	0,322	0,00610	0,37	0,00778	0,488	0,00899	0,45
0,02526	0,446	0,02191	0,48	0,02268	0,597	0,02011	0,64	0,02310	0,792	0,02254	0,80
0,06146	0,732	0,05663	0,76	0,05436	1,021	0,05630	1,00	0,05600	1,316	0,06098	1,26
0,11438	1,048	0,11491	1,05	0,10500	1,438	0,11067	1,40	0,11074	1,925	0,12906	1,78
0,16148	1,290	0,17197	1,25	0,14632	1,679	0,14993	1,66	0,15680	2,305	0,18439	2,135

CONDUITES EN TÔLE ET BITUME.

DIAMÈTRE DE $0^m,268$.				DIAMÈTRE DE $0^m,0826$.				DIAMÈTRE DE $0^m,196$.				DIAMÈTRE DE $0^m,285$.			
		FORMULE DE PRONY.				FORMULE DE PRONY.				FORMULE DE PRONY.				FORMULE DE PRONY.	
PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00022	0,030	0,00012	0,045	0,00027	0,100	0,00025	0,10	0,00020	0,180	0,00029	0,14	0,00070	0,395	0,00086	0,35
0,00067	0,092	0,00068	0,09	0,00066	0,176	0,00070	0,175	0,00045	0,278	0,00065	0,235	0,00255	0,848	0,00374	0,70
0,00225	0,155	0,00164	0,185	0,00203	0,357	0,00249	0,32	0,00129	0,466	0,00171	0,40	0,00433	1,179	0,00709	0,92
0,00609	0,271	0,00449	0,32	0,00629	0,665	0,00801	0,585	0,00330	0,780	0,00460	0,66	0,00685	1,494	0,01121	1,16
0,01133	0,384	0,00849	0,44	0,01220	0,950	0,01602	0,84	0,00580	1,076	0,00860	0,88	0,01190	2,084	0,02064	1,535
0,02115	0,567	0,01836	0,61	0,02285	1,354	0,03187	1,14	0,01190	1,657	0,02017	1,27	0,02044	2,698	0,03629	2,02
0,03035	0,678	0,02567	0,74	0,03107	1,613	0,04507	1,355	0,01200	1,679	0,02065	1,275	0,02807	3,207	0,05127	2,37
0,04540	0,853	0,03975	0,91	0,04070	1,874	0,06054	1,53	0,02100	2,250	0,03710	1,69				
0,11846	1,467	0,11612	1,49	0,07170	2,572	0,11355	2,04	0,02970	2,743	0,05433	2,02				
0,17985	1,859	0,18463	1,84	0,10654	3,211	0,1762	2,49	0,03040	3,052	0,07264	2,24				
0,24419	2,203	0,25727	2,14	0,13880	3,668	0,2301	2,845	0,12150	6,010	0,25805					
0,30714	2,507	0,33397	2,405	0,15605	3,897	0,2596									

CONDUITE EN VERRE.

DIAMÈTRE DE $0^m,04968$.				OBSERVATIONS.
		FORMULE DE PRONY.		
PENTE par mètre.	VITESSES expérimentales.	Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
0,00096	0,153	0,00084	0,16	
0,00345	0,312	0,00312	0,325	
0,00771	0,485	0,00727	0,50	
0,02318	0,893	0,02351	0,885	
0,05762	1,478	0,06349	1,41	
0,11191	2,106	0,12778	1,97	

CONDUITES EN FONTE.

CHARGÉE DE DÉPÔTS.				LA MÊME NETTOYÉE.				CHARGÉE DE DÉPÔTS.				LA MÊME NETTOYÉE.			
DIAMÈTRE DE 0m,359.				DIAMÈTRE DE 0m,0364.				DIAMÈTRE DE 0m,0795.				DIAMÈTRE DE 0m,0801.			
PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00025	0,051	0,00019	0,06	0,00071	0,113	0,00067	0,115	0,00065	0,123	0,00036	0,17	0,00084	0,193	0,00079	0,195
0,00071	0,081	0,00040	0,115	0,00180	0,188	0,00174	0,195	0,00250	0,251	0,00131	0,35	0,00294	0,385	0,00291	0,385
0,00183	0,130	0,00090	0,195	0,00651	0,387	0,00656	0,39	0,00725	0,446	0,00385	0,62	0,00723	0,614	0,00700	0,62
0,00670	0,253	0,00291	0,39	0,01441	0,601	0,01492	0,59	0,01610	0,678	0,00869	0,93	0,00737	0,624	0,00722	0,625
0,01525	0,381	0,00634	0,60	0,03018	0,892	0,03201	0,865	0,0310	0,931	0,01597	1,305	0,01557	0,864	0,01361	0,92
0,03240	0,551	0,01280	0,89	0,03966	1,034	0,04256	0,995	0,04535	1,142	0,02377	1,585	0,02938	1,248	0,02826	1,275
0,04155	0,633	0,01661	1,01	0,04650	1,126	0,05058	1,08					0,04473	1,326	0,04177	1,58

CONDUITES EN FONTE NEUVE.

DIAMÈTRE DE 0m,0819.				DIAMÈTRE DE 0m,137.				DIAMÈTRE DE 0m,188.			
PENTES par mètre.	VITESSES expérimentales.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTES par mètre.	VITESSES expérimentales.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTES par mètre.	VITESSES expérimentales.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00020	0,058	0,00021	0,085	0,00240	0,140	0,00030	0,46	0,00027	0,205	0,00039	0,17
0,00083	0,171	0,00063	0,193	0,00870	0,298	0,001066	0,90	0,00175	0,497	0,00204	0,46
0,00232	0,358	0,00251	0,345	0,00209	0,483	0,00250	0,43	0,00368	0,758	0,00456	0,68
0,00531	0,561	0,00581	0,535	0,00475	0,763	0,00026	0,66	0,00805	1,128	0,00988	1,02
0,01020	0,791	0,01128	0,75	0,01260	1,279	0,01731	1,09	0,01340	1,488	0,01700	1,32
0,02253	1,185	0,02489	1,125	0,0225	1,714	0,0306	1,465	0,02250	1,933	0,02831	1,72
0,03208	1,418	0,03550	1,35	0,03318	2,098	0,04590	1,78	0,03810	2,506	0,04742	2,24
0,04042	1,571	0,04325	1,515	0,03905	2,281	0,05401	1,935	0,10980	4,323	0,1393	
0,09547	2,433	0,10417	2,345	0,09852	3,640	0,13750		0,14591	4,928	0,1817	
0,09904	2,487	0,10757	2,385	0,16756	4,693	0,2276					
0,11978	2,720	0,12814	2,63								
0,16807	3,238	0,1810									
0,17072	3,265	0,1842									

CONDUITES EN FONTE.

CHARGÉE DE DÉPÔTS.				LA MÊME NETTOYÉE.				BIEN NETTOYÉE.				NEUVE.			
DIAMÈTRE DE 0^m,2432.				DIAMÈTRE DE 0^m,2447.				DIAMÈTRE DE 0^m,297.				DIAMÈTRE DE 0^m,30.			
PENTE par mètre	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.	PENTE par mètre.	VITESSES EXPÉRIMENTALES.	FORMULE DE PRONY. Pente correspondant à la vitesse expérimentale.	FORMULE DE PRONY. Vitesse correspondant à la pente expérimentale.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00094	0,307	0,00064	0,38	0,00052	0,278	0,00053	0,28	0,00028	0,244	0,00033	0,22	0,00045	0,4207	0,00055	0,38
0,00202	0,452	0,00129	0,57	0,00165	0,537	0,00181	0,515	0,00119	0,538	0,00149	0,48	0,00045	0,4488	0,00063	0,38
0,00473	0,707	0,00309	0,88	0,00498	0,949	0,00541	0,91	0,00259	0,823	0,00334	0,73	0,00060	0,4752	0,00069	0,44
0,01150	1,106	0,00731	1,39	0,01155	1,420	0,01188	1,40	0,00537	1,155	0,00653	1,045	0,00120	0,7932	0,00185	0,63
0,02290	1,547	0,01420	1,975	0,02035	1,904	0,02109	18,6	0,01105	1,652	0,01315	1,51	0,00125	0,7951	0,00187	0,645
0,03200	1,833	0,01970	2,345	0,02735	2,200	0,02631	2,17	0,02305	2,390	0,02735	2,195	0,00210	1,0412	0,00316	0,84
0,04105	2,073	0,02513	2,655	0,03730	2,572	0,03833	2,535	0,03205	2,799	0,03743	2,59	0,00230	1,1135	0,00358	0,85
0,13981	3,833	0,0862		0,11343	4,497	0,1168		0,04070	3,160	0,04772	2,92	0,00250	1,1278	0,00371	0,92

Si nous comparons les résultats mis en présence dans les tableaux précédents, nous arriverons à conclure :

Que l'état des surfaces exerce une influence notable sur l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

Si en effet nous examinons d'abord le tableau relatif à l'écoulement de l'eau dans les conduites enduites de bitume, nous remarquerons que les tuyaux des diamètres 0^m,0826, 0^m,196, 0^m,285 donnent des vitesses expérimentales bien supérieures aux vitesses accusées par la formule de Prony.

Le rapport entre ces vitesses s'élève jusqu'à $\frac{32}{23}$.

La conduite en verre donnerait des résultats dans le même sens; si la différence est moins grande, cela doit tenir à l'irrégularité du diamètre de ce tuyau.

Si nous prenons au contraire la conduite de 0^m,2432, dont le diamètre après nettoiement est devenu égal à...... 0^m,2447

Nous trouverons que, pour la pente de $0^m,04105$ par mètre, la formule de Prony donne pour la vitesse........... $2^m,655$
tandis que l'expérience indique.................. $2,073$

Si nous passons de là à la conduite nettoyée de $0^m,2447$, nous verrons que, pour la pente de $0^m,03723$ par mètre, la formule de Prony donne pour la vitesse.................... $2^m,535$
et l'expérience.......................... $2,573$

Les tuyaux de { $0^m,0359$ recouverts de dépôts, $0,0364$ nettoyés, $0,0795$ recouverts de dépôts, $0,0801$ nettoyés, }

offrent les mêmes résultats.

La première conclusion parait donc à l'abri de toute contestation.

Arrivons à l'influence que peuvent exercer les diamètres lorsque les surfaces présentent à peu près le même degré de poli.

Si nous examinons les tableaux relatifs aux débits comparatifs des tuyaux ayant

$0^m,0122$, $0,0266$ } de diamètre

et

$0^m,137$, $0,188$, $0,297$, $0,50$ } de diamètre,

nous verrons que, tandis que pour les premiers les résultats de l'expérience sont notablement au-dessous de ceux de la formule, pour les seconds, au contraire, les résultats de l'expérience les dépassent très-largement.

On peut donc admettre que les volumes croissent avec les diamètres dans une proportion plus grande que celle assignée par

la formule; nous chercherons à déterminer la loi de cet accroissement.

Nous ferons encore une observation générale, c'est que les conduites en plomb de $0^m,014$, $0^m,027$, $0^m,041$ donnent des résultats à peu près identiques avec la formule de Prony, tandis que les grosses conduites en fonte neuve de $0^m,137$, $0^m,188$, $0^m,50$ présentent, pour les mêmes pentes, des vitesses notablement plus considérables.

Cela s'explique facilement :

C'est en effet sur des tuyaux d'un grand degré de poli et d'un diamètre analogue à mes conduites en plomb que MM. Dubuat et Bossut ont agi; on devait donc retrouver leurs résultats. C'est au contraire sur des tuyaux de grands diamètres, mais déjà recouverts de dépôts, puisqu'ils faisaient partie d'une distribution existante, que Couplet a opéré. Les résistances dans ces tuyaux devaient donc être supérieures, comme on le verra en effet plus tard, à celles trouvées dans ceux de diamètre analogue que j'ai soumis à l'expérience.

Quant à l'accord jugé remarquable par Prony entre ses formules et la quarante-troisième expérience de son tableau, expérience relative au tuyau de $0^m,487259$, il ne provient que de la compensation qui s'est établie entre les résultats donnés par des tuyaux de petit diamètre, mais bien polis, et des tuyaux d'un grand diamètre, mais ayant déjà longtemps servi.

En déterminant en effet le coefficient de la résistance dans la formule $R\,i = a\,v^2$,

1° Pour les expériences faites par Dubuat sur un tuyau de $0^m,0270699$ de diamètre et $19^m,9506$ de longueur [1], et pour lequel

[1] Les chiffres de la page suivante sont extraits des *Recherches physico-mathématiques* de Prony : des charges totales exprimées dans la première colonne devraient être soustraites les portions de ces charges employées à la production des vitesses; cette déduction est nécessaire lorsqu'il s'agit de tuyaux de petite longueur. J'ai conservé toutefois les chiffres de Prony parce que leur rectification ne les modifierait point assez pour altérer les conclusions auxquelles je vais parvenir.

Aux charges de	Et aux pentes de	Correspondent les vitesses
0^m,004,060,5	0^m,000,203,528	0^m,042,956,5
0 ,013,535	0 ,000,678,426	0 ,098,087
0 ,160,525	0 ,008,046,37	0 ,360,522
0 ,210,604	0 ,010,556,1	0 ,408,696
0 ,242,547	0 ,012,157,5	0 ,441,739
0 ,333,502	0 ,016,716,3	0 ,540,870
0 ,370,858	0 ,018,588,9	0 ,565,217
0 ,395,221	0 ,019,809,9	0 ,591,304
0 ,641,558	0 ,032,157,4	0 ,775,652

on trouve, par la méthode des moindres carrés, $\frac{1}{\sqrt{a}} = 34,328$.

2° Pour les expériences faites par Couplet :

1° Sur un tuyau de 0^m,13535 de diamètre, anciennement posé, de 2280^m,37 de longueur, et pour lequel,

Aux charges de	Et aux pentes de	Correspondent les vitesses
0^m,151,132	0^m,000,066,274,3	0^m,054,416,6
0 ,306,784	0 ,000,134,531	0 ,084,787
0 ,453,422	0 ,000,198,836	0 ,111,685
0 ,570,716	0 ,000,250,275	0 ,130,096
0 ,649,678	0 ,000,284,901	0 ,141,115
0 ,676,749	0 ,000,296,772	0 ,144,068

on trouve également.................. $\frac{1}{\sqrt{a}} = 30,2072$;

2° Sur un tuyau d'un diamètre (43e expérience du tableau de Prony) de 0^m,487259, d'une longueur de 1169^m,42 et dans lequel à la charge de 3^m,9279 correspondait la vitesse

$1^{m},06003$, on trouve.................. $\frac{1}{\sqrt{a}} = 37,058$[1].

On voit donc que, par suite des conditions diverses dans lesquelles était placé le tuyau de Dubuat, de $0^{m},027$ de diamètre, et celui de Couplet, de $0^{m},487$, il s'est établi une compensation presque parfaite, puisque la résistance a pour coefficient dans l'un et l'autre :

1° 34,328
2° 37,058

On verra plus tard que ces mêmes tuyaux placés dans des conditions identiques auraient donné pour la résistance :

le 1er, le coefficient 34,20
le 2e, le coefficient 44,10

preuve nouvelle de l'influence du diamètre, car le tuyau de plomb était, sans aucun doute, d'un beaucoup plus grand poli que le tuyau en fonte.

Inutile au reste de faire observer que les tableaux précédents justifient complétement l'assertion que, dans les gros diamètres,

[1] Les coefficients 34,328, 30,2072, 37,058 donnent pour les vitesses correspondant aux vitesses expérimentales les nombres suivants, savoir :

TUYAUX.					
$0^{m},027$		$0^{m},13535$		$0^{m},4872$	
EXPÉRIENCES.	CALCULS.	EXPÉRIENCES.	CALCULS.	EXPÉRIENCES.	CALCULS.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,042,956,5	0,056,976,2	0,054,416,6	0,063,809,5	1,060,03	1,060,03
0,098,087	0,104,024	0,084,787	0,091,145,6		
0,360,522	0,358,246	0,111,683	0,110,808,4		
0,408,696	0,410,329	0,130,096	0,124,318		
0,441,730	0,440,356	0,141,115	0,132,639		
0,540,870	0,516,350	0,144,068	0,135,374		
0,565,217	0,544,513				
0,591,304	0,562,112				
0,775,652	0,716,180				
Dubuat.		Couplet.			

le débit indiqué par les formules de Prony est inférieur à celui que l'expérience indique.

Avant de rechercher la loi qui lie dans chaque tuyau les pentes aux vitesses, nous ferons encore une observation : c'est qu'il paraîtrait, lorsqu'il s'agit de vitesses très-faibles obtenues dans des tuyaux de petit diamètre, que ces vitesses croîtraient proportionnellement aux pentes[1].

On remarque, par exemple, que dans le tuyau en fer étiré de $0^m,0122$,

$$\text{aux vitesses} \left\{ \begin{array}{l} 0^m,0344 \\ 0\ ,0718 \\ 0\ ,1170 \end{array} \right\} \text{correspondent les ~~vitesses~~} \left\{ \begin{array}{l} 0^m,00085 \\ 0\ ,00184 \\ 0\ ,00304 \end{array} \right.$$

d'où pour les rapports des pentes aux vitesses :

0,024,709
0,025,627
0,025,983

On voit également que pour le tuyau en tôle et bitume de $0^m,0268$,

$$\text{aux vitesses} \left\{ \begin{array}{l} 0^m,030 \\ 0,\ 092 \end{array} \right\} \text{correspondent les pentes} \left\{ \begin{array}{l} 0^m,000,22 \\ 0\ ,000,67 \end{array} \right.$$

d'où, pour les rapports des pentes aux vitesses :

0,007,333
0,007,283

égalités de rapport qui constituent l'équation d'une droite passant par l'origine des coordonnées.

Mais, à partir des vitesses de $0^m,10$ à $0^m,12$ par seconde, cette loi, qui se remarque aux abords de l'origine des coordonnées, paraît s'arrêter.

De plus, elle semble disparaître entièrement dans les conduites recouvertes de dépôts.

[1] Les vitesses sont encore proportionnelles aux charges dans l'écoulement de l'eau à travers le sable, ainsi que je l'ai expérimentalement démontré. (Voyez *les Fontaines publiques de Dijon*, page 590.)

Ainsi dans le tuyau en fonte de $0^m,0359$, avant son nettoiement,

aux vitesses $\left\{\begin{array}{l} 0^m,051 \\ 0\ ,081 \end{array}\right\}$ correspondent les pentes $\left\{\begin{array}{l} 0^m,000,25 \\ 0\ ,000,71 \end{array}\right.$

ce qui donne pour les rapports cherchés :

$$0,004,902$$
$$0,008,765$$

Les points ici seraient donc à peu près situés sur une parabole rapportée à son sommet.

Il convient maintenant de chercher à préciser l'influence exercée par l'état des surfaces et par les diamètres des conduites.

Ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, il faut pour cela diviser les expériences par nature de conduite et par diamètre de tuyau, au lieu de les réunir, ainsi qu'on l'a fait jusqu'à présent, à raison du petit nombre d'éléments dont on disposait, et d'en déduire des moyennes sous lesquelles disparaissent les lois cherchées.

Le grand nombre d'expériences que je présente dans ce mémoire permet de réaliser ce travail, car à chaque tuyau correspond une quantité de données telles, qu'il est possible d'en faire sortir avec exactitude la loi d'écoulement qui lui est propre.

Voyons d'abord si pour chaque tuyau se vérifie la relation connue $\frac{Ri}{2} = av + bv^2$, qui devient, division faite des deux membres par $\frac{R}{2}$,

$$i = Av + Bv^2$$

Il suffit pour le reconnaître, ainsi que l'a fait observer Prony, de diviser les deux membres de cette équation par v, et considérant $\frac{i}{v}$ comme une variable z, de voir si les données de la question offrent, ainsi que cela doit être dans le cas où l'hypothèse initiale serait fondée, une ligne droite pour la relation

$$z = A + Bv$$

il pourrait se faire d'ailleurs que la constante A fût égale à zéro, ou négligeable dans certaines circonstances.

On le reconnaîtrait à raison de la proportionnalité de z à v.

Dans ce cas, il est évident que la parabole correspondante qui représenterait la loi cherchée serait

$$i = Bv^2$$

Si, au contraire, la proportionnalité n'atteignait que le rapport de la différence des z à celle des v correspondants, alors la parabole deviendrait

$$i = Av + Bv^2$$

et les résistances dans ce cas croîtraient moins rapidement que dans le premier, c'est-à-dire que le carré de la vitesse.

Enfin, si les coefficients en a et b de la formule $Ri = av + bv^2$ avaient été constants pour tous les diamètres et pour tous les tuyaux, ainsi qu'on l'avait supposé, on aurait obtenu un nombre toujours le même en divisant les différences des z consécutifs par celles des v correspondants et multipliant le quotient par R.

Les planches VII, VIII, IX, déduites des tableaux suivants, permettent d'apprécier toutes ces hypothèses.

CONDUITES EN FER ÉTIRÉ.

Numéros d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE 0m,0122 (1).				Numéros d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE 0m,0266 (2).				Numéros d'ordre des expériences.	DIAMÈTRE DE 0m,0395 (3).			
	PERTES i.	VITESSES v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.		PERTES i.	VITESSES v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.		PERTES i.	VITESSES v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.				mèt.	mèt.		
1	0,00085	0,0344	0,024709	0,000150	14	0,00033	0,0578	0,005709	0,0000759	27	0,00022	0,0626	0,003514	0,0000694
2	0,00184	0,0718	0,025627	0,000156	15	0,00152	0,1310	0,011603	0,000154	28	0,00078	0,1112	0,007014	0,000138
3	0,00304	0,1170	0,025983	0,000158	16	0,00487	0,2480	0,019637	0,000261	29	0,00182	0,1848	0,009848	0,000194
4	0,00533	0,1470	0,036258	0,000221	17	0,01015	0,3680	0,027581	0,000367	30	0,00336	0,2616	0,012844	0,000254
5	0,00754	0,1690	0,044615	0,000272	18	0,01937	0,5220	0,037107	0,000493	31	0,00650	0,3817	0,017029	0,000336
6	0,01659	0,2300	0,072130	0,000440	19	0,03126	0,6670	0,046866	0,000623	32	0,01286	0,5594	0,022988	0,000454
7	0,02580	0,2870	0,089895	0,000548	20	0,04348	0,7960	0,054623	0,000726	33	0,02389	0,7878	0,030324	0,000599
8	0,03472	0,3430	0,101224	0,000617	21	0,06316	0,9610	0,065723	0,000874	34	0,03123	0,9149	0,34200	0,000675
9	0,04399	0,3920	0,112219	0,000684	22	0,10022	1,2350	0,081149	0,001079	35	0,04348	1,0951	0,039704	0,000784
10	0,06264	0,4780	0,131046	0,000799	23	0,10571	1,2810	0,082521	0,001097	36	0,12315	1,9205	0,064123	0,001270
11	0,08554	0,5730	0,149284	0,000911	24	0,17826	1,6820	0,105981	0,001442	37	0,17553	2,3055	0,076135	0,001540
12	0,17862	0,8460	0,211135	0,001290	25	0,25601	1,9980	0,128133	0,001704	38	0,22408	2,5971	0,086281	0,001700
13	0,34426	1,1950	0,288083	0,001757	26	0,30952	2,1840	0,141722	0,001885					

(1, 2, 3) Voyez la planche VII.

CONDUITES EN PLOMB.

Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,014 (1). Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,027 (2). Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,041 (3). Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.				mèt.	mèt.		
39	0,00064	0,040	0,016000	0,000112	46	0,00044	0,065	0,006769	0,0000914	53	0,00082	0,120	0,006833	0,000140
40	0,00336	0,165	0,020363	0,000142	47	0,00300	0,188	0,015957	0,000215	54	0,00362	0,276	0,013114	0,000269
41	0,00862	0,246	0,035040	0,000245	48	0,00814	0,322	0,025279	0,000341	55	0,00778	0,488	0,015942	0,000327
42	0,02526	0,446	0,056636	0,000396	49	0,02268	0,597	0,037990	0,000512	56	0,02310	0,792	0,029166	0,000598
43	0,06146	0,732	0,083961	0,000588	50	0,05436	1,021	0,053242	0,000719	57	0,05600	1,310	0,042553	0,000872
44	0,11438	1,048	0,109141	0,000764	51	0,10500	1,438	0,073018	0,000986	58	0,11074	1,925	0,057527	0,001179
45	0,16148	1,290	0,125178	0,000876	52	0,14632	1,679	0,087147	0,001175	59	0,15880	2,305	0,068893	0,001412

(1, 2, 3) Voyez la planche VIII

CONDUITES EN TÔLE ET BITUME.

Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,0268 (1). Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,0826 (2). Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Observations.
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.			
60	0,00022	0,030	0,007333	0,000098	72	0,00027	0,100	0,0027	0,0001115	(1) Voyez pl. VIII.
61	0,00067	0,092	0,007283	0,0000796	73	0,00066	0,176	0,00375	0,000155	(2) *Ibid.*
62	0,00225	0,155	0,014516	0,000194	74	0,00203	0,357	0,005406	0,000223	
63	0,00609	0,271	0,022472	0,000301	75	0,00629	0,665	0,009450	0,000391	
64	0,01133	0,384	0,029505	0,000395	76	0,01220	0,950	0,012842	0,000530	
65	0,02115	0,567	0,037301	0,000500	77	0,02285	1,354	0,016875	0,000698	
56	0,03035	0,678	0,044764	0,000600	78	0,03107	1,613	0,019262	0,000796	
67	0,04540	0,853	0,053224	0,000713	79	0,04070	1,874	0,021718	0,000897	
68	0,11846	1,467	0,080750	0,001082	80	0,07170	2,572	0,027877	0,001151	
69	0,17985	1,850	0,096745	0,001300	81	0,10654	3,211	0,033180	0,001370	
70	0,24419	2,203	0,110844	0,001482	82	0,13880	3,668	0,037840	0,001563	
71	0,30714	2,507	0,122513	0,001642	83	0,15605	3,897	0,040043	0,001654	

CONDUITES EN TÔLE ET BITUME.

Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,196 (1).				Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,285 (2).				Observations.
	Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.		Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.			
84	0,00020	0,180	0,001111	0,000109	95	0,00070	0,395	0,001772	0,000253	(1) Voyez pl. VIII.
85	0,00048	0,278	0,001727	0,000169	96	0,00255	0,848	0,003007	0,000428	(2) *Ibid.*
86	0,00129	0,466	0,002768	0,000271	97	0,00433	1,179	0,003673	0,000523	
87	0,00330	0,780	0,004231	0,000415	98	0,00685	1,494	0,004585	0,000633	
88	0,00580	1,076	0,005390	0,000528	99	0,01190	2,034	0,005851	0,000834	
89	0,01190	1,657	0,007182	0,000704	100	0,02044	2,698	0,007576	0,001080	
90	0,01200	1,679	0,007147	0,000700	101	0,02807	3,207	0,008753	0,001250	
91	0,02100	2,259	0,009296	0,000911						
92	0,02970	2,743	0,010827	0,001061						
93	0,03640	3,052	0,011926	0,001169						
94	0,12156	6,010	0,020226	0,001982						

CONDUITE EN VERRE.

Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de 0m,04968 (1).				Observations.
	Pertes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	
	mèt.	mèt.			
102	0,00096	0,153	0,006274	0,000156	(1) Voyez la planche VIII.
103	0,00345	0,312	0,011060	0,000275	
104	0,00771	0,485	0,015900	0,000395	
105	0,02318	0,893	0,025960	0,000645	
106	0,05762	1,478	0,038985	0,000968	
107	0,11191	2,108	0,053088	0,001320	

CONDUITES EN FONTE.

NUMÉROS D'ORDRE des expériences.	CHARGÉE DE DÉPÔTS. DIAMÈTRE DE $0^m,0359$ (1).				NUMÉROS D'ORDRE des expériences.	LA MÊME NETTOYÉE. DIAMÈTRE DE $0^m,0364$ (2).				OBSERVATIONS.
	PERTES i.	VITESSES v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.		PERTES i.	VITESSES v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.			
108	0,00025	0,051	0,004902	0,00088	115	0,00071	0,113	0,006283	0,000114	(1) Voyez pl. VIII.
109	0,00071	0,081	0,008765	0,000157	116	0,00180	0,188	0,009574	0,000174	(2) *Ibid.*
110	0,00183	0,130	0,014077	0,000253	117	0,00651	0,387	0,016822	0,000305	
111	0,00670	0,253	0,026482	0,000475	118	0,01441	0,601	0,023977	0,000436	
112	0,01525	0,381	0,040026	0,000718	119	0,03018	0,892	0,033834	0,000616	
113	0,03240	0,551	0,058802	0,001056	120	0,03966	1,034	0,038356	0,000698	
114	0,04155	0,633	0,065639	0,001178	121	0,04650	1,120	0,041296	0,000751	

CONDUITES EN FONTE.

NUMÉROS D'ORDRE des expériences.	CHARGÉE DE DÉPÔTS. DIAMÈTRE DE $0^m,0795$ (1).				NUMÉROS D'ORDRE des expériences.	LA MÊME NETTOYÉE. DIAMÈTRE DE $0^m,0801$ (2).				OBSERVATIONS.
	PERTES i.	VITESSES v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.		PERTES i.	VITESSES v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.			
122	0,00065	0,123	0,005284	0,000210	128	0,00084	0,193	0,004652	0,000176	(1) Voir pl. VIII.
123	0,00250	0,251	0,009960	0,000395	129	0,00294	0,385	0,007636	0,000308	(2) *Ibid.*
124	0,00725	0,446	0,016256	0,000645	129 *bis*.	0,00723	0,614	0,011775	0,000475	
125	0,01010	0,678	0,023746	0,000944	130	0,00737	0,624	0,011811	0,000476	
126	0,03100	0,931	0,033298	0,001320	131	0,01557	0,864	0,018025	0,000727	
127	0,04535	1,142	0,039711	0,001576	132	0,02938	1,248	0,023541	0,000950	
					133	0,04473	1,526	0,029312	0,001183	

CONDUITES EN FONTE NEUVE.

Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de $0^m,0819$ (1). Pentes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de $0^m,137$ (2). Pentes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Numéros d'ordre des expériences.	Diamètre de $0^m,188$ (3). Pentes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.				mèt.	mèt.		
134	0,00020	0,088	0,002273	0,000092	147	0,000240	0,149	0,001611	0,00011	157	0,00027	0,205	0,001348	0,000127
135	0,00083	0,171	0,004854	0,000196	148	0,000870	0,298	0,002919	0,000199	158	0,00175	0,497	0,003521	0,000331
136	0,00232	0,358	0,006480	0,000262	149	0,00209	0,483	0,004327	0,000296	159	0,00368	0,758	0,004855	0,000456
137	0,00531	0,561	0,009465	0,000383	150	0,00475	0,763	0,006225	0,000430	160	0,00805	1,128	0,007136	0,000671
138	0,01020	0,791	0,012895	0,000522	151	0,01260	1,279	0,009851	0,000675	161	0,01340	1,488	0,009005	0,000846
139	0,02255	1,185	0,018987	0,000768	152	0,02250	1,714	0,013127	0,000920	162	0,02250	1,933	0,011640	0,001094
140	0,03208	1,418	0,022623	0,000915	153	0,03318	2,098	0,015815	0,001083	163	0,03810	2,506	0,015238	0,001432
141	0,04042	1,571	0,025728	0,00104	154	0,03905	2,281	0,017119	0,001172	164	0,10980	4,323	0,025399	0,002390
142	0,09547	2,453	0,038819	0,00157	155	0,09852	3,640	0,027065	0,001854	165	0,14591	4,928	0,029608	0,002783
143	0,09904	2,487	0,039823	0,00161	156	0,16756	4,693	0,035704	0,002445					
144	0,11978	2,720	0,044036	0,00178										
145	0,16807	3,238	0,051905	0,002100										
146	0,17072	3,265	0,052188	0,002115										

(1, 2, 3) Voyez la planche IX.

CONDUITES EN FONTE.

Numéros d'ordre des expériences.	Chargée de dépôts. Diamètre de $0^m,2432$ (1). Pentes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Numéros d'ordre des expériences.	La même nettoyée. Diamètre de $0^m,2447$ (2). Pentes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Observations.
	mèt.	mèt.				mèt.	mèt.			
166	0,00094	0,307	0,003062	0,000372	174	0,00052	0,278	0,001828	0,000224	(1) Voyez pl. IX.
167	0,00202	0,452	0,004469	0,000543	175	0,00165	0,537	0,003073	0,000376	(2) Ibid.
168	0,00473	0,707	0,006690	0,000813	176	0,00498	0,949	0,005248	0,000642	
169	0,01150	1,106	0,010402	0,001265	177	0,01155	1,420	0,008115	0,000992	
170	0,02290	1,517	0,015112	0,001838	178	0,02035	1,904	0,010688	0,001307	
171	0,03200	1,833	0,017457	0,002123	179	0,02735	2,206	0,012397	0,001516	
172	0,04105	2,073	0,019802	0,002409	180	0,03730	2,572	0,014502	0,001774	
173	0,13981	3,833	0,036475	0,004435	181	0,11343	4,497	0,025223	0,003085	

CONDUITES EN FONTE.

Numéros d'ordre des expériences.	Ancienne bien nettoyée. Diamètre de $0^m,297$ (1). Pentes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$	Numéros d'ordre des expériences.	Neuve. Diamètre de $0^m,50$ (2). Pentes i.	Vitesses v.	$\frac{i}{v}$.	$\frac{Ri}{v}$.	Observations.
	met.	met.				met.	met.			
182	0,0028	0,264	0,001147	0,000170	190	0,00045	0,4207	0,001045	0,000261	(1) Voyez pl. IX.
183	0,00119	0,538	0,002212	0,000328	191	0,00045	0,4480	0,001003	0,000251	(2) Ibid.
184	0,00269	0,823	0,003268	0,000485	192	0,00060	0,4752	0,001263	0,000316	
185	0,00537	1,155	0,004649	0,000690	193	0,00120	0,7932	0,001513	0,000378	
186	0,01105	1,652	0,006689	0,000993	194	0,00125	0,7951	0,001572	0,000392	
187	0,02305	2,390	0,009425	0,001400	195	0,00210	1,0412	0,002017	0,000504	
188	0,03205	2,799	0,011450	0,001701	196	0,00230	1,1135	0,002065	0,000516	
189	0,04070	3,160	0,012880	0,001913	198	0,00250	1,1278	0,002217	0,000554	

On voit :

1° Que pour chaque tuyau les rapports des différences des z à celles des v sont à peu près constants, puisqu'on obtient des lignes droites en prenant les z pour ordonnées et les v pour abscisses.

D'où la conséquence que, pour chaque tuyau, la forme de la fonction

$$i = Av + Bv^2$$

peut être adoptée.

Il n'y a d'exception qu'à l'origine des coordonnées des tuyaux de petit diamètre, où la loi qui lie les pentes aux vitesses est donnée par une ligne droite.

2° Qu'en passant d'un tuyau à l'autre, les valeurs de a et de b dans l'expression

$$\frac{Ri}{2} = av + bv^2$$

ne sont point constantes, et qu'elles varient soit avec les surfaces, lorsque ces dernières offrent des degrés de poli inégaux, soit avec les rayons, lorsque les surfaces, au contraire, sont à peu près identiques.

3° On reconnait encore, en jetant les yeux sur les colonnes 1 et 2 des tableaux relatifs aux tuyaux recouverts de dépôts,

$0^m,0359$, $0^m,0795$, $0^m,2432$, que les rapports des $\frac{\frac{i}{v}}{v} = \frac{i}{v^2}$ sont sensiblement constants.

D'où résulte cette conséquence, que plus le degré de poli diminue dans les tuyaux, plus le rapport $\frac{i}{v^2}$ est près de devenir constant, et que ce rapport même peut être considéré comme constant pour les tuyaux anciens ou recouverts de dépôts.

Ce qui montre expérimentalement, d'une part, que le terme en v^2 se rapporte principalement à cette partie de la résistance destinée à surmonter les aspérités disséminées sur les surfaces; et, d'autre part, permet d'arriver à une expression très-simple pour le mouvement de l'eau dans les tuyaux.

La constance du rapport $\frac{i}{v^2}$ pour un diamètre déterminé donne, en effet, la loi:

$$i = B_1 v^2$$

Or, comme dans les distributions d'eau les tuyaux, après un très-petit nombre d'années, sont recouverts de dépôts, il en résulte que l'on devra en pratique recourir à la formule ci-dessus.

Mais il nous reste à serrer encore de plus près les questions que nous avons soulevées.

Nous allons pour cela déterminer les valeurs des quantités a, b et b_1 dans les formules $\frac{Ri}{2} = av + bv^2$, et $\frac{Ri}{2} = b_1 v^2$.

Et ces valeurs trouvées nous chercherons à présenter :

1° La loi de l'influence des diamètres dans la formule, ou les courbes formées par les constantes prises pour ordonnées, les diamètres étant les abscisses, dans les tuyaux à surfaces également polies.

2° Le coefficient de rectification qu'il importera dans la pratique d'appliquer aux formules dont je donnerai l'expression, ou aux tables que je calculerai, pour rendre ces formules ou ces tables, obtenues avec des tuyaux neufs, propres aux tuyaux de conduite recouverts de dépôts.

Car c'est évidemment sur cette hypothèse que les calculs d'une distribution d'eau doivent reposer.

Mais avant d'arriver au chapitre suivant, où je m'efforcerai de résoudre ces deux questions, je vais encore déduire des faits qui précèdent quelques conséquences théoriques et pratiques.

Et d'abord, je reviens à la démonstration de ce principe :

Que la résistance opposée par les parois est indépendante de la pression que leur fait supporter le liquide en mouvement.

Si l'on jette les yeux sur les résultats des expériences 12 et 13, on remarquera :

EXPÉRIENCE 12.

1° Qu'au manomètre 1 la charge était de........	2m,421
Au 2e, de..............................	11 ,321
Au 3e, de..............................	20 ,283
La moyenne de la pression entre 1 et 2 est de.....	6 ,871
Entre 2 et 3, de..........................	15 ,802
Et en ajoutant le poids de l'atmosphère, on a, pour la pression moyenne entre les manomètres 1 et 2....	17 ,201
Entre les manomètres 2 et 3.................	26 ,132

EXPÉRIENCE 13.

2° Qu'au manomètre 1, la pression était.........	3m,291
Au 2e..............................	20 ,437
Au 3e..............................	39 ,308
Moyenne de la pression entre 1 et 2, en y ajoutant le poids de l'atmosphère..................	22 ,194
Moyenne de la pression entre 2 et 3, en tenant également compte du poids de l'atmosphère........	40 ,202

On voit donc :

1° Que dans l'expérience 12 les pressions de la 1re et de la 2e partie du tuyau sont entre elles dans le rapport de..... $\frac{17}{26}$

2° Que dans l'expérience 13 ce rapport devient......... $\frac{22}{40}$

On trouverait des résultats analogues dans les expériences 24, 25, 26, etc. et, en général, dans toutes celles précédemment rapportées, mais j'ai dû me borner aux plus caractéristiques.

Or, si les résistances dépendaient de la pression, comme la même quantité d'eau coule dans chaque partie de tuyau, il est évident que les manomètres n'accuseraient point les mêmes différences de charges pour vaincre les frottements dans l'une et l'autre partie, tandis que les différences sont :

1° Pour l'expérience 12, entre le	1er et le 2e manomètre	8m,90
	2e et le 3e........	8 ,96
2° Pour l'expérience 13, entre le	1er et le 2e........	17 ,46
	2e et le 3e........	17 ,28

On ne peut donc conserver aucun doute sur la vérité du principe posé.

J'ai fait pourtant encore deux expériences qui conduisent, par une autre voie, au même résultat.

Un robinet d'arrêt avait été placé à l'extrémité de la conduite de 0m,0266; en fermant en partie ce robinet pour augmenter la charge, j'ai obtenu les résultats suivants :

EXPÉRIENCE 23.

Au 1er piézomètre, charge................ ... 25m,407
Au 2e.............................. 30 ,733
Au 3e.............................. 35 ,978
Pente par mètre......................... 0 ,10571

Le second manomètre peut être considéré comme représentant la charge moyenne, laquelle, augmentée du poids de l'atmosphère, donne............................. 41m,063

Or, la vitesse correspondant à cette charge et à la pente par mètre précitée est.................... 1 ,281

J'avais fait préalablement une autre expérience dans laquelle j'avais opéré avec la pente de 0m,10022, laquelle diffère très-peu de la précédente, mais en laissant le robinet ouvert, de manière à modifier la charge que supportait le tuyau, et j'avais obtenu :

EXPÉRIENCE 22.

Au 1er manomètre, charge	2m,394
Au 2e	7 ,443
Au 3e	12 ,416
Pente par mètre	0 ,10022
La charge moyenne, en tenant compte du poids de l'atmosphère, était	17 ,773
La vitesse obtenue a été	1 ,235

tandis que le rapport des pressions supportées par le tuyau était, en nombres ronds, dans les expériences 22-23 .... $\frac{18}{41}$

Or, on pourra s'assurer plus tard que la formule d'interpolation relative au tuyau de 0,0266 donne les résultats suivants, savoir:

1m,231 pour la vitesse correspondant à la pente de 0m,10022
1 ,265 ——————————— 0 ,10571

c'est-à-dire que l'on retombe sur le même chiffre pour la vitesse correspondant à une pression moyenne de 17m,77, et sur une vitesse un peu plus petite que la vitesse expérimentale pour celle correspondant à la pression moyenne de 41m,26.

L'expérience est donc concluante.

J'ai quelquefois, du reste, obtenu des vitesses expérimentales plus grandes lorsque les charges étaient notablement supérieures.

Cela tient à ce que le tuyau se dilate très-sensiblement sous ces charges; j'ai pu mesurer directement cette dilatation.

Je mettais le tuyau en charge en greffant sur lui un tube vertical en verre terminé par un robinet à sa jonction avec le tuyau; puis, lorsque la charge était obtenue, je fermais un robinet établi entre le réservoir et l'origine du tuyau.

Ouvrant alors le robinet placé à la partie inférieure du tube en verre, la conduite, en vertu de son élasticité, reprenait son diamètre primitif, et cette élasticité était mesurée par la hauteur dont l'eau montait dans le tube en verre.

Ce moyen pourrait être facilement appliqué dans des expe-

riences relatives à la recherche de l'élasticité du plomb, de la tôle, de la fonte, du verre, etc. etc.

J'ai voulu m'assurer ensuite si une *impulsion vive*[1], au centre de la conduite, ne tendrait pas à modifier la loi de distribution des vitesses du fluide, et, par conséquent, si l'on ne remarquerait pas sous l'influence de cette impulsion des variations dans les différences des charges, entre le 3e et le 2e manomètre d'une part, et le 2e et le 1er d'autre part. Pour cela, j'ai placé entre le réservoir et le manomètre 4, immédiatement contre le cylindre, un diaphragme en mince paroi percé d'une ouverture de 0m,005 de diamètre; ce diaphragme en cuivre avait une épaisseur à peine égale à 0m,002.

Trois expériences ont été faites sur la conduite de 0m,0266, sous les nos 26 *bis*, 26 *ter*, 26 *quater;* la différence des charges à l'amont et à l'aval de l'orifice était :

36m,167 24 ,721 1 ,541	d'où pour les vitesses, en vertu de la formule $v = 4{,}42\sqrt{h}$	26m,61 21 ,98 5 ,49

Dans le tuyau les volumes expérimentaux étaient..... { 0lit,272 / 0 ,200 / 0 ,078

d'où pour les vitesses moyennes dans la conduite dont la section était de 0m,000556........................ { 0m,489 / 0 ,360 / 0 ,140

On voit donc que l'impulsion était excessivement forte puisqu'elle résultait des différences de vitesse

$$26{,}61 - 0{,}489 = 26{,}121$$
$$21{,}98 - 0{,}360 = 21{,}620$$
$$5{,}49 - 0{,}140 = 5{,}350$$

[1] J'ai plusieurs fois employé cette expression qui est peu convenable; je veux dire : «... Si l'introduction au centre de la conduite d'une forte vitesse ne tendrait, etc.... »

Or, on remarquera, d'une part, que les différences existant entre les manomètres 1 et 2, 2 et 3, dans les expériences précédentes, sont tout à fait analogues à celles qui existaient avant l'emploi du diaphragme.

On remarquera de plus que l'impulsion donnée n'a aucunement fait varier la vitesse moyenne due à la pente accusée par les manomètres.

En effet, en déduisant ces vitesses moyennes de la formule applicable au tuyau de $0^m,0266$, qui est:

$$^{1}\ Ri = 0{,}000{,}048{,}486\ v + 0{,}000{,}840{,}03\ v^2$$

on trouve pour les vitesses correspondant aux différences piézométriques

les valeurs :............. $0^m,500$ $0^m,366$ $0^m,136$ [2]
tandis que l'expérience accuse $0^m,489$ $0^m,360$ $0^m,140$ [3].

On pourra conclure de ce qui précède, qu'une impulsion centrale, quelque vive qu'elle soit, ne modifie d'une manière appréciable ni le produit, ni la distribution des vitesses des filets fluides, et que, par l'effet de la cohésion de l'eau, cette impulsion s'amortit presque immédiatement.

Du reste, je donnerai de ce fait une seconde démonstration au

[1] Cette formule résulte, comme on le verra plus tard, du tableau des calculs des coefficients des 1re et 2e puissances de v.

[2] Ces vitesses s'obtiennent en substituant dans les formules

les pentes $0^m,01758$, $0,00982$, $0,00177$ } résultant des différences piézométriques { $1^m,758$, $0,982$, $0,177$

[3] En comparant les volumes déduits de l'expérience de ceux résultant de la formule $v = 4{,}42\sqrt{h}$, on avait

$$\frac{0^l,272}{0{,}54},\quad \frac{0^l,20}{0{,}431},\quad \frac{0^l,078}{0{,}108},$$

et pour les coefficients de contraction

$$0{,}522,\quad 0{,}465,\quad 0{,}726.$$

moyen de l'instrument qui m'a servi à déterminer les vitesses relatives des filets fluides.

Je montrerai en même temps que, bien que la loi de distribution des vitesses ne soit pas altérée par une impulsion centrale donnée à l'amont, une augmentation de vitesse à l'aval, obtenue au moyen d'un raccordement conique du tuyau en expérience avec un tuyau de diamètre moindre, paraît modifier la loi de distribution des vitesses, en augmentant la vitesse centrale et la flèche de la courbe.

Je donnerai le résultat de cette double expérience dans le chapitre V.

Il s'est encore produit pendant mes expériences un fait qu'il convient peut-être de signaler.

Lorsque les eaux d'un tuyau coulaient sous une forte charge et que brusquement on prenait une charge moindre, condition qu'il était facile de remplir lorsqu'on faisait usage des appareils (pl. III, fig. 11 et 12), les manomètres, après une oscillation brusque, se fixaient bientôt à un niveau constant.

Mais si l'on cherchait le débit du tuyau, et si l'on répétait plusieurs fois l'expérience, on trouvait à chaque fois des volumes qui allaient un peu en décroissant, et ce n'était qu'après un long intervalle que les débits se réglaient et correspondaient aux charges manométriques[1].

La charge étant subitement diminuée, le réservoir ne pouvait plus de lui-même livrer à l'eau contenue dans le tuyau un volume égal à celui qui dans le premier moment tendait encore à s'écouler.

De là une sorte de succion que j'ai directement constatée.

C'était donc le liquide du tuyau qui, pendant tout le temps nécessaire pour arriver au nouvel état d'équilibre, semblait entraîner en partie l'eau du réservoir.

[1] Ce résultat semblerait impliquer que dans cette circonstance il y avait variation dans la distribution des vitesses des filets fluides : la vitesse à la paroi arrivant promptement à l'état normal, tandis que celle du centre décroissait moins rapidement.

Cette expérience montre pourquoi nous avions toujours le soin, en opérant, de commencer par les petites vitesses; en agissant autrement, on se serait exposé à avoir des volumes plus grands que ceux résultant des pentes observées.

CHAPITRE IV.

DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS DES FORMULES.

On a vu que les relations existant entre les pentes et les vitesses de l'eau s'écoulant dans une conduite pouvaient être représentées par les équations

$$\mathrm{R}i = av + bv^2 \quad (1)$$ [1]

ou

$$\mathrm{R}i = b_1 v^2 \quad (2)$$

La seconde équation s'appliquant plus exactement aux conduites déjà anciennes et recouvertes de dépôts.

Il s'agit maintenant de déterminer les coefficients a et b de la première équation, et le coefficient b_1 de la seconde, au moyen des expériences faites pour chaque tuyau.

Nous appliquerons, du reste, chacune des équations 1 et 2 à la représentation des phénomènes, car si dans les limites de la pratique la seconde était dans tous les cas suffisamment exacte, il serait beaucoup plus simple d'y avoir toujours recours.

Elle permet en effet de résoudre avec une grande simplicité toutes les questions relatives aux distributions d'eau.

A quelle méthode maintenant convient-il de recourir pour atténuer autant que possible les anomalies qui existeront entre les formules et les résultats de l'expérience?

De Prony, dans son *Recueil des cinq tables*, annonçait que dans

[1] Le premier membre de ces équations devrait être divisé par 2; ainsi les valeurs des coefficients a, b et b_1, résultant des calculs qui vont suivre, présenteront des valeurs doubles de celles que l'on aurait déduites de la formule de Prony $\frac{\mathrm{R}i}{2} = av + bv^2$ ou $\frac{\mathrm{R}i}{2} = b_1 v^2$; il faudra se rappeler cette observation en comparant la formule des tuyaux à celle des canaux découverts.

les publications futures qu'il se proposait de faire sur les eaux courantes, il appliquerait à la recherche des lois des phénomènes observés la belle méthode de la moindre somme des carrés des erreurs.

Je me suis inspiré de sa pensée, et c'est à ce procédé que j'ai cru devoir recourir.

Mais, au lieu de déterminer a et b ainsi que b, par la condition que la somme des carrés des erreurs fût la plus petite possible, je les ai assujettis à la condition de rendre minimum la somme des carrés des rapports existant entre les erreurs et les données expérimentales.

On comprend en effet qu'un écart de 4 à 5 centimètres sur une vitesse de 2 à 3 mètres est sans importance, mais qu'il devient très-considérable quand il s'applique à une vitesse de 15 à 20 centimetres.

On voit donc qu'il ne s'agit pas précisément de rendre d'une manière absolue la somme des carrés des erreurs la plus petite possible, mais qu'il faut chercher, ainsi que l'a fait remarquer M. Eytelwein, à calculer les constantes de manière à obtenir des minimum pour les rapports existant entre l'expression des écarts et les données de la question.

Seulement M. Eytelwein n'arrivait à ce résultat qu'en se servant de préférence, pour la formation des équations qui devaient lui servir a la déterminatien des coefficients, des expériences dans lesquelles la vitesse est très-faible.

Je n'ai pas besoin d'insister sur les inconvénients de cette manière d'agir.

Les expériences à pentes et vitesses faibles sont en général les moins exactes, et celles au contraire à pentes et vitesses considérables offrent le plus de garanties, et ce sont ces dernières qui sont sacrifiées aux premières par le procédé précité.

Il était, ce me semble, plus rationnel d'agir ainsi que je l'ai fait, c'est-à-dire de considérer le rapport de tous les écarts aux données expérimentales, au lieu d'avoir égard à ces écarts eux-mêmes.

J'ai du reste fait les calculs dans toutes les hypothèses.

Chacune des formules (1) et (2) donnera lieu à deux espèces de valeurs que l'on pourra comparer entre elles.

Déterminons maintenant les valeurs de a et b, ainsi que de b_1 dans les hypothèses précitées.

Et d'abord, prenons l'équation $Ri = av + bv^2$ que l'on ramènera à la forme linéaire en divisant les deux membres par v et faisant $\frac{i}{v} = z$;

d'où: $$Rz = a + bv$$

en y substituant à la place de v les valeurs déduites de l'expérience, on ne retrouvera pas exactement celles de z; l'expression générale de la différence sera:

$$\delta = \frac{a}{R} + \frac{b}{R} v - z$$

celle du rapport de la différence à la donnée expérimentale sera également:

$$\frac{\delta}{z} = \frac{a}{R} \frac{1}{z} + \frac{b}{R} \frac{v}{z} - 1$$

Or, le principe de la moindre somme du carré des erreurs consiste à rendre minimum, soit la somme de tous les δ^2 ou $\Sigma \delta^2$, soit celle de tous les $\left(\frac{\delta}{z}\right)^2$ ou $\Sigma \left(\frac{\delta}{z}\right)^2$.

Nous différencierons donc l'une et l'autre expression en considérant a et b comme variables indépendantes; nous égalerons à 0 le résultat de la différenciation, et nous aurons pour les valeurs de a et de b:

1° Dans l'hypothèse où l'on veut se borner à rendre la somme des carrés des erreurs la plus petite possible,

(1) $$a = R \frac{\frac{\Sigma i}{\Sigma v^2} - \frac{\Sigma \frac{i}{v}}{\Sigma v}}{\frac{\Sigma v}{\Sigma v^2} - \frac{n}{\Sigma v}}$$

$$(2) \qquad b = R \frac{\dfrac{\Sigma \frac{i}{v}}{n} - \dfrac{\Sigma i}{\Sigma v}}{\dfrac{\Sigma v}{n} - \dfrac{\Sigma v^2}{\Sigma v}}$$

n est égal au nombre des expériences qui servent à la détermination des coefficients a et b.

2° Dans l'hypothèse où l'on veut obtenir un minimum pour les rapports des déviations aux données expérimentales, il viendra pour les valeurs de a et b :

$$(3) \qquad a = R \frac{\dfrac{\Sigma \frac{v^2}{i}}{\Sigma \frac{v^4}{i^2}} - \dfrac{\Sigma \frac{v}{i}}{\Sigma \frac{v^3}{i^2}}}{\dfrac{\Sigma \frac{v^3}{i^2}}{\Sigma \frac{v^4}{i^2}} - \dfrac{\Sigma \frac{v^2}{i^2}}{\Sigma \frac{v^3}{i^2}}}$$

$$(4) \qquad b = R \frac{\dfrac{\Sigma \frac{v}{i}}{\Sigma \frac{v^2}{i^2}} - \dfrac{\Sigma \frac{v^2}{i}}{\Sigma \frac{v^3}{i^2}}}{\dfrac{\Sigma \frac{v^3}{i^2}}{\Sigma \frac{v^2}{i^2}} - \dfrac{\Sigma \frac{v^4}{i^2}}{\Sigma \frac{v^3}{i^2}}}$$

Si maintenant nous passons, pour représenter les phénomènes observés, à une équation de la forme $Ri = b_1 v^2$, laquelle, ainsi que nous l'avons fait remarquer, convient plus particulièrement aux conduites déjà anciennes et recouvertes de dépôts, on aura, en la ramenant à la forme linéaire par le moyen ci-dessus indiqué,

$$Rz = b_1 v$$

Ainsi l'écart absolu sera donné par la relation,

$$\delta = \frac{b_1}{R} v - z$$

et l'écart proportionnel par,

$$\frac{\delta}{z} = \frac{b_1}{R} \frac{v}{z} - 1$$

d'où, en opérant comme précédemment, et remplaçant z par sa valeur $\frac{i}{v}$,

$$(5) \qquad b_1 = R \frac{\Sigma i}{\Sigma v^2}$$

$$(6) \qquad b_1 = R \frac{\Sigma \frac{v^2}{i}}{\Sigma \frac{v^4}{i^2}}$$

La transformation des fonctions paraboliques

$$Ri = av + bv^2, \quad Ri = b_1 v^2,$$

en fonctions linéaires

$$Rz = a + bv, \quad Rz = b_1 v,$$

permet aussi de déterminer graphiquement, avec une grande precision, les constantes a, b et b_1 : aussi n'ai-je pas négligé de recourir à ce mode concurremment avec celui des moindres carrés : ce dernier procédé donne aveuglément la même valeur à des expériences qui peuvent inspirer des degrés inégaux de confiance; or, il est assez facile d'avoir égard à *la qualité* des expériences à l'aspect d'une construction graphique qui met en relief les anomalies : quoiqu'il en soit, ces méthodes diverses n'ont donné que d'insignifiantes différences, et les écarts qu'elles ont présentés

entre elles ont moins d'importance que les erreurs dues à l'imperfection des méthodes d'observation : le but à atteindre était que les faits expérimentaux fussent exactement représentés par les formules empiriques, et l'on reconnaîtra qu'au moyen de la substitution des coefficients auxquels je suis parvenu, cette condition a été remplie.

Si nous substituons maintenant dans les équations (1) et (2), (3) et (4), (5), (6) les données expérimentales, nous obtiendrons : les valeurs de a et de b d'une part, ou des coefficients de v et de v^2; d'autre part de b_1, ou des coefficients de v^2, dans les hypothèses précitées.

On pourra ainsi former les tableaux synoptiques suivants.

DIAMÈTRE des TUYAUX.	DÉSIGNATION DE LA FORMULE employée pour le calcul des coefficients.	COEFFICIENT DE		$\frac{b}{\sqrt{b_1}}$.	OBSERVATIONS.
		r.	r².		
		CONDUITES EN FER ÉTIRÉ.			
0,0122........	1-2.	0,000,156,170	0,001,338,968	»	
	3-4.	0,000,142,255	0,001,361,42	»	
	5.	»	0,001,557,841	25,34	
	6.	»	0,001,673,692	24,44	
0,0266........	1-2.	0,000,045,403	0,000,833,228	»	
	3-4.	0,000,048,486	0,000,840,034	»	
	5.	»	0,000,866,447	33,97	
	6.	»	0,000,918,256	33,00	
0,0395........	1-2.	0,000,081,589	0,000,626,345	»	
	3-4.	0,000,037,832	0,000,697,532	»	
	5.	»	0,000,673,022	38,55	
	6.	»	0,000,784,505	35,70	
		CONDUITES EN PLOMB.			
0,014........	1-2	0,000,129,815	0,000,589,18	»	
	3-4.	0,000,038,938	0,000,713,37	»	
	5.	»	0,000,731,056	36,99	
	6.	»	0,000,800,612	35,34	
0,027........	1-2.	0,000,097,54	0,000,632	»	
	3-4.	0,000,053,950	0,000,701,359	»	
	5.	»	0,000,713,103	37,45	
	6.	»	0,000,821,254	34,90	
0,041........	1-2.	0,000,145,14	0,000,346,296	»	
	3-4.	0,000,077,63	0,000,610,9	»	
	5.	»	0,000,634,906	39,69	
	6.	»	0,000,732,350	36,95	
		CONDUITES EN TÔLE ET BITUME.			
0,0268........	1-2.	0,000,231,348	0,000,566,963	»	
	3-4.	0,000,062,947	0,000,707,826	»	
	5.	»	0,000,700,806	37,77	
	6.	»	0,000,837,225	34,56	
0,0826........	1-2.	0,000,175,433	0,000,377,845	»	
	3-4.	0,000,075,752	0,000,430,344	»	
	5.	»	0,000,442,192	47,56	
	6.	»	0,000,505,283	44,49	

DIAMÈTRE des TUYAUX.	DÉSIGNATION DE LA FORMULE employée pour le calcul des coefficients.	COEFFICIENT DE v.	COEFFICIENT DE v^2.	$\frac{1}{\sqrt{b_1}}$	OBSERVATIONS.
		CONDUITES EN TÔLE ET BITUME. (Suite.)			
0,190	1-2.	0,000,255,27	0,000,284,249	"	
	3-4.	0,000,056,138	0,000,378,747	"	
	5.	"	0,000,363,297	52,47	
	6.	"	0,000,433,990	48,00	
0,285	1-2.	0,000,122,17	0,000,351,96	"	
	3-4.	0,000,114,180	0,000,356,100	"	
	5.	"	0,000,407,074	49,56	
	6.	"	0,000,439,529	47,70	
		CONDUITE EN VERRE.			
0,04968	1-2.	0,000,128,322	0,000,550,994	"	
	3-4.	0,000,067,0	0,000,626,9	"	
	5.	"	0,000,655,268	39,07	
	6.	"	0,000,744,309	36,65	
		CONDUITES EN FONTE.			
0,0359 (Chargée de dépôts.)	1-2.	0,000,001,574	0,001,881,995	"	
	3-4.	0,000,030,165	0,002,109,07	"	
	5.	"	0,001,880,706	23,06	
	6.	"	0,001,873,503	23,10	
0,0364 (La même nettoyée.)	1-2.	0,000,072,518	0,000,604,857	"	
	3-4.	0,000,045,972	0,000,642,634	"	
	5.	"	0,000,689,050	38,10	
	6.	"	0,000,750,605	36,50	
0,0795 (Chargée de dépôts.)	1-2.	0,000,049,548	0,001,352,693	"	
	3-4.	0,000,045,990	0,001,351,362	"	
	5.	"	0,001,406,042	26,67	
	6.	"	0,001,471,671	26,07	
0,0801 (La même nettoyée.)	1-2.	0,000,028,735	0,000,747,579	"	
	3-4.	0,000,028,194	0,000,740,836	"	
	5.	"	0,000,774,964	35,92	
	6.	"	0,000,792,017	35,53	
		CONDUITES EN FONTE NEUVE.			
0,0819	1-2.	0,000,013,654	0,000,641,823	"	
	3-4.	0,000,044,861	0,000,634,45	"	
	5.	"	0,000,660,556	38,91	
	6.	"	0,000,694,765	37,94	

DIAMÈTRE des tuyaux.	DÉSIGNATION de la formule employée pour le calcul des coefficients.	COEFFICIENT de v.	COEFFICIENT de v^2.	$\frac{1}{\sqrt{b_1}}$	OBSERVATIONS.
		CONDUITES EN FONTE NEUVE. (Suite.)			
0,137.	1-2.	0,000,037,438	0,000,505,379	»	
	3-4.	0,000,038,825	0,000,505,527	»	
	5.	»	0,000,318,828	43,90	
	6.	»	0,030,553,390	42,51	
0,188.	1-2	0,000,034,145	0,000,552,468	»	
	3-4.	0,000,012,276	0,000,572,07	»	
	5.	»	0,000,565,048	42,14	
	6.	»	0,000,584,393	41,37	
		CONDUITES EN FONTE.			
0,2432 . . . . . (Vieille chargée de dépôts.)	1-2	0,000,002,864	0,001,156,730	»	
	3-4	0,000,020,310	0,001,143,722	»	
	5.	»	0,001,158,572	29,38	
	6.	»	0,001,167,779	29,26	
0,2447. . . . . (La même nettoyée.)	1-2.	0,000,011,161	0,000,683,699	»	
	3-4	0,000,083,885	0,000,665,825	»	
	5.	»	0,000,688,012	38,12	
	6.	»	0,000,701,720	37,75	
0,297. . . . . (Nettoyée.)	1-2	0,000,004,959	0,000,601,89	»	
	3-4	0,000,023,508	0,000,585,53	»	
	5.	»	0,000,604,121	40,68	
	6.	»	0,000,611,913	40,43	
0,50 . . . . . . (Neuve.)	1-2.	0,000,081,4	0,000,402,9	»	
	3-4.	0,000,109,90	0,000,369,31	»	
	5.	»	0,000,393,171	45,03	
	6.	»	0,000,509,181	44,32	

Il convient maintenant, pour juger du degré d'approximation qui résulte des coefficients déterminés dans le tableau précédent, de rechercher, à l'aide des formules qu'ils permettent d'établir, les vitesses que donneraient les expressions par la substitution des pentes expérimentales.

Nous prendrons ensuite la différence entre les vitesses déduites de l'expérience et des formules; nous diviserons les résultats par

les vitesses expérimentales, et les quotients trouvés offriront les rapports des erreurs aux données expérimentales.

Nous obtiendrons ainsi les écarts exprimés en fractions décimales des données prises pour unité.

On arrivera aux erreurs moyennes en divisant pour chaque tuyau la somme des écarts donnés par chaque formule employée, par le nombre de ces écarts.

Les tableaux ci-dessous offrent les résultats des calculs :

DIAMÈTRE des TUYAUX.	Nos d'ordre.	VITESSES d'après l'expérience.	VITESSES D'APRÈS LES FORMULES				RAPPORTS ENTRE LES DIFFÉRENCES DES VITESSES déduites de l'expérience et de la formule, et les vitesses expérimentales.			
			1-2.	3-4.	5.	6.	1-2.	3-4.	5.	6.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
					CONDUITES EN FER ÉTIRÉ.					
		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.				
0,0122	6	0,2300	0,223	0,225	0,255	0,246	+0,0304	+0,0217	−0,1087	−0,0696
	7	0,2870	0,289	0,292	0,318	0,307	−0,0070	−0,0174	−0,1080	−0,0697
	8	0,3430	0,344	0,346	0,369	0,356	−0,0029	−0,0067	−0,0758	−0,0379
	9	0,3920	0,393	0,395	0,415	0,400	−0,0026	−0,0077	−0,0587	−0,0204
	10	0,4780	0,479	0,480	0,495	0,478	−0,0021	−0,0042	−0,0356	+0,0000
	11	0,5730	0,569	0,569	0,579	0,558	+0,0070	+0,0070	−0,0105	+0,0262
	12	0,8460	0,846	0,844	0,836	0,807	0,0000	+0,0024	+0,0118	+0,0461
	13	1,1950	1,195	1,191	1,161	1,120	0,0000	+0,0033	+0,0284	+0,0628
0,0266	15	0,1310	0,131	0,129	0,153	0,148	0,0000	+0,0153	−0,1679	−0,1298
	16	0,2480	0,253	0,250	0,273	0,266	−0,0202	−0,0061	−0,1008	−0,0726
	17	0,3680	0,376	0,372	0,395	0,383	−0,0217	−0,0109	−0,0734	−0,0408
	18	0,5220	0,530	0,526	0,545	0,530	−0,0153	−0,0077	−0,0441	−0,0151
	19	0,6670	0,680	0,675	0,693	0,673	−0,0190	−0,0120	−0,0390	−0,0089
	20	0,7960	0,806	0,801	0,817	0,794	−0,0126	−0,0063	−0,0264	+0,0025
	21	0,9610	0,977	0,972	0,985	0,956	−0,0167	−0,0114	−0,0250	+0,0052
	22	1,2350	1,238	1,231	1,240	1,205	−0,0024	+0,0032	−0,0040	+0,0243
	23	1,2810	1,272	1,265	1,274	1,237	+0,0070	+0,0125	+0,0055	+0,0351
	24	1,6820	1,660	1,651	1,654	1,607	+0,0131	+0,0184	+0,0166	+0,0446
	25	1,9980	1,994	1,985	1,982	1,930	+0,0020	+0,0065	+0,0080	+0,0340
	26	2,1840	2,196	2,175	2,180	2,117	−0,0055	+0,0041	+0,0018	+0,0307
0,0395	27	0,0626	0,0406	0,0563	0,0803	0,0744	+0,3514	+0,1006	−0,2827	−0,1882
	28	0,1112	0,1047	0,1239	0,1513	0,1401	+0,0585	−0,1142	−0,3607	−0,2598
	29	0,1848	0,1831	0,2015	0,2311	0,2141	+0,0092	−0,0904	−0,2506	−0,1585
	30	0,2616	0,2668	0,2825	0,3140	0,2908	−0,0198	−0,0798	−0,2003	−0,1116

DIAMÈTRE des tuyaux.	Nos d'ordre.	VITESSES d'après l'expérience.	VITESSES d'après les formules.				RAPPORTS entre les différences des vitesses déduites de l'expérience et de la formule, et les vitesses expérimentales			
			1-2.	3-4.	5.	6	1-2.	3-4.	5.	6
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
		CONDUITES EN FER ÉTIRÉ. (Suite.)								
		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.				
0,0395	31	0,3817	0,3923	0,4027	0,4367	0,4045	−0,0278	−0,0550	−0,1441	−0,0597
	32	0,5594	0,5750	0,5769	0,6143	0,5690	−0,0279	−0,0312	−0,0981	−0,0171
	33	0,7878	0,8052	0,7958	0,8373	0,7755	−0,0221	−0,0102	−0,0628	+0,0156
	34	0,9149	0,9294	0,9137	0,9573	0,8867	−0,0158	+0,0013	−0,0463	+0,0308
	35	1,0951	1,1076	1,0828	1,1296	1,0462	−0,0114	+0,0112	−0,0315	+0,0447
	36	1,9205	1,9065	1,8404	1,9010	1,7608	+0,0073	+0,0417	+0,0101	+0,0832
	37	2,3055	2,2884	2,2024	2,2696	2,1021	+0,0074	+0,0447	+0,0155	+0,0882
	38	2,5971	2,5938	2,4918	2,5643	2,3751	+0,0013	+0,0405	+0,0126	+0,0855
		CONDUITES EN PLOMB.								
0,014	40	0,165	0,118	0,156	0,179	0,171	+0,2848	+0,0545	−0,0848	−0,0363
	41	0,246	0,228	0,265	0,287	0,275	+0,0732	−0,0772	−0,1667	−0,1179
	42	0,446	0,430	0,471	0,492	0,470	+0,0359	−0,0561	−0,1031	−0,0529
	43	0,732	0,751	0,750	0,767	0,733	−0,0260	−0,0240	−0,0478	−0,0013
	44	1,048	1,061	1,033	1,047	1,000	−0,0124	+0,0143	+0,0009	+0,0458
	45	1,290	1,279	1,232	1,244	1,188	−0,0085	+0,0450	+0,0355	+0,0798
0,027	46	0,065	0,047	0,061	0,091	0,085	+0,2769	+0,0615	−0,4000	−0,3077
	47	0,188	0,188	0,205	0,238	0,222	0,0000	−0,0904	−0,2660	−0,1808
	48	0,322	0,347	0,359	0,393	0,366	−0,0776	−0,1149	−0,2205	−0,1366
	49	0,597	0,623	0,623	0,655	0,611	−0,0436	−0,0436	−0,0972	−0,0235
	50	1,021	1,003	0,985	1,014	0,945	+0,0176	+0,0353	+0,0068	+0,0744
	51	1,438	1,423	1,384	1,410	1,314	+0,0104	+0,0375	+0,0194	+0,0862
	52	1,679	1,692	1,640	1,664	1,551	−0,0077	+0,0232	+0,0089	+0,0762
0,041	53	0,120	0,087	0,114	0,163	0,152	+0,2750	+0,0500	−0,3583	−0,2667
	54	0,276	0,259	0,291	0,342	0,318	+0,0616	−0,0543	−0,2391	−0,1521
	55	0,488	0,424	0,451	0,501	0,467	+0,1311	+0,0758	−0,0266	+0,0430
	56	0,792	0,808	0,819	0,864	0,804	−0,0202	−0,0341	−0,1000	−0,0151
	57	1,316	1,323	1,300	1,345	1,252	−0,0053	+0,0053	−0,0220	+0,0486
	58	1,925	1,910	1,865	1,891	1,761	+0,0078	+0,0312	+0,0176	+0,0851
	59	2,305	2,312	2,246	2,264	2,108	−0,0030	+0,0256	+0,0177	+0,0854
		CONDUITES EN TÔLE ET BITUME.								
0,0268	60	0,030	0,012	0,034	0,065	0,059	+0,6000	−0,1333	−1,1666	−0,9667
	61	0,092	0,036	0,077	0,113	0,104	+0,6087	+0,0136	−0,2283	−0,1304
	62	0,155	0,104	0,167	0,207	0,190	+0,3291	−0,0774	−0,3355	−0,2258
	63	0,271	0,227	0,298	0,341	0,312	+0,1624	−0,0996	−0,2583	−0,1512



DIAMÈTRE des TUYAUX. (1)	Nos d'ordre. (2)	VITESSES d'après l'expérience. (3)	VITESSES D'APRÈS LES FORMULES 1-2. (4)	3-4. (5)	5. (6)	6. (7)	RAPPORTS ENTRE LES DIFFÉRENCES DES VITESSES déduites de l'expérience et de la formule, et les vitesses expérimentales. 1-2. (8)	3-4. (9)	5. (10)	6. (11)

CONDUITES EN TÔLE ET BITUME. (Suite.)

		mét.	mét.	mét.	mét.	mét.				
	64	0,384	0,352	0,421	0,465	0,426	+0,0833	—0,0963	—0,2110	—0,1094
	65	0,567	0,548	0,605	0,651	0,595	+0,0335	—0,0670	—0,1481	—0,0494
	66	0,678	0,667	0,715	0,762	0,697	+0,0162	—0,0546	—0,1239	—0,0280
	67	0,853	0,852	0,884	0,932	0,852	+0,0011	—0,0363	—0,0926	+0,0012
0,0268.....	68	1,467	1,482	1,454	1,505	1,377	—0,0102	+0,0088	—0,0259	+0,0613
	69	1,859	1,868	1,801	1,854	1,697	—0,0048	+0,0312	+0,0027	+0,0872
	70	2,203	2,207	2,106	2,161	1,977	—0,0018	+0,0440	+0,0191	+0,1025
	71	2,507	2,498	2,367	2,423	2,217	+0,0035	+0,0558	+0,0335	+0,1156
	72	0,100	0,057	0,096	0,159	0,149	+0,430	+0,040	—0,590	—0,4900
	73	0,176	0,123	0,179	0,248	0,232	+0,301	—0,0170	—0,409	—0,3180
	74	0,357	0,293	0,362	0,435	0,407	+0,179	—0,0140	—0,218	—0,1400
	75	0,665	0,629	0,694	0,766	0,717	+0,0391	—0,0436	—0,152	—0,0782
	76	0,950	0,946	0,998	1,068	0,999	+0,0042	—0,0505	—0,124	—0,0516
	77	1,354	1,365	1,395	1,461	1,367	—0,0081	—0,0303	—0,0789	—0,0096
0,0826.....	78	1,613	1,625	1,641	1,704	1,594	—0,0074	—0,0174	—0,0564	+0,0111
	79	1,874	1,890	1,890	1,950	1,824	—0,0085	—0,0085	—0,0405	+0,0266
	80	2,572	2,577	2,537	2,588	2,421	—0,0019	+0,0136	—0,0062	+0,0587
	81	3,211	3,196	3,111	3,155	2,951	+0,0046	+0,0311	+0,0174	+0,0809
	82	3,668	3,670	3,563	3,600	3,368	—0,0005	+0,0286	+0,0185	+0,0817
	83	3,897	3,904	3,783	3,818	3,571	—0,0018	+0,0292	+0,0203	+0,0837
	84	0,180	0,071	0,165	0,232	0,213	+0,606	+0,0833	—0,289	—0,1833
	85	0,278	0,157	0,286	0,360	0,329	+0,435	—0,0288	—0,295	—0,1835
	86	0,466	0,355	0,509	0,591	0,540	+0,196	—0,0935	—0,268	—0,1588
	87	0,780	0,708	0,853	0,943	0,863	+0,0923	—0,0936	—0,209	—0,1064
	88	1,070	1,035	1,153	1,251	1,144	+0,0381	—0,0530	—0,163	—0,0632
0,196.......	89	1,657	1,626	1,683	1,792	1,640	+0,0187	—0,0157	—0,0814	+0,0102
	90	1,679	1,634	1,690	1,799	1,646	+0,0268	—0,0065	—0,0714	+0,0196
	91	2,259	2,279	2,259	2,380	2,178	—0,0088	0,0000	—0,0535	+0,0359
	92	2,743	2,782	2,700	2,831	2,590	—0,0142	+0,0157	—0,0321	+0,0558
	93	3,052	3,122	2,997	3,134	2,867	—0,0229	+0,0180	—0,0269	+0,0606
	94	6,010	6,040	5,536	5,726	5,239	—0,0049	+0,0789	+0,0473	+0,1282
	95	0,395	0,386	0,393	0,495	0,476	+0,0228	+0,0050	—0,253	—0,2050
	96	0,848	0,857	0,863	0,945	0,909	—0,0106	—0,0177	—0,114	—0,0719
	97	1,179	1,162	1,166	1,231	1,185	+0,0144	+0,0110	—0,0441	—0,0051
0,285.......	98	1,494	1,501	1,503	1,549	1,490	—0,0046	—0,0060	—0,0368	+0,0027
	99	2,034	2,028	2,028	2,041	1,964	+0,0029	+0,0029	—0,0034	+0,0344
	100	2,698	2,708	2,704	2,675	2,574	—0,0037	—0,0022	+0,0085	+0,0459
	101	3,207	3,202	3,188	3,135	3,017	+0,0015	+0,0059	+0,0224	+0,0592

DIAMÈTRE des TUYAUX.	N^os d'ordre	VITESSES d'après l'expérience.	VITESSES D'APRÈS LES FORMULES				RAPPORTS ENTRE LES DIFFÉRENCES DES VITESSES déduites de l'expérience et de la formule, et les vitesses expérimentales			
			1-2.	3-4	5.	6.	1-2.	3-4	5.	6.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
				CONDUITE EN VERRE.						
		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.				
	102	0,153	0,122	0,149	0,191	0,179	+0,203	+0,0261	−0,248	−0,1699
	103	0,312	0,296	0,320	0,302	0,330	+0,0673	−0,0256	−0,160	−0,0865
	104	0,485	0,485	0,502	0,541	0,507	0,0000	−0,0351	−0,115	−0,0454
0,04968...	105	0,893	0,912	0,906	0,937	0,880	−0,0213	−0,0146	−0,0493	+0,0145
	106	1,478	1,500	1,459	1,478	1,387	−0,0149	+0,0129	0,0000	+0,0616
	107	2,108	2,133	2,053	2,060	1,933	−0,0119	+0,0261	+0,0227	+0,0830
				CONDUITES EN FONTE.						
	108	0,051	0,048	0,054	»	»	+0,0588	−0,0588	»	»
	109	0,081	0,082	0,065	0,082	0,082	−0,0123	−0,0493	−0,0123	−0,0123
0,0359....	110	0,130	0,132	0,132	0,132	0,132	−0,0154	−0,0154	−0,0154	−0,0154
(Chargée	111	0,253	0,252	0,246	0,253	0,253	+0,0039	+0,0277	0,0000	0,0000
de dépôts.)	112	0,381	0,381	0,367	0,382	0,382	0,0000	+0,0367	−0,0026	−0,0026
	113	0,551	0,555	0,532	0,556	0,557	−0,0072	+0,0345	−0,0097	−0,0109
	114	0,633	0,629	0,602	0,630	0,031	+0,0063	+0,0490	+0,0047	+0,0032
	115	0,113	0,098	0,110	0,137	0,131	+0,1330	+0,0265	−0,212	−0,1593
	116	0,188	0,180	0,193	0,218	0,209	+0,0426	−0,0266	−0,160	−0,1117
0,0364....	117	0,387	0,387	0,395	0,415	0,397	0,0000	−0,0207	−0,0724	−0,0258
(La même	118	0,601	0,601	0,604	0,617	0,591	0,0000	−0,0049	−0,0262	+0,0166
nettoyée).	119	0,892	0,895	0,880	0,893	0,855	−0,0034	+0,0033	−0,0010	+0,0415
	120	1,034	1,034	1,025	1,024	0,981	0,0000	+0,0087	+0,0096	+0,0512
	121	1,126	1,124	1,112	1,108	1,062	+0,0018	+0,0127	+0,0164	+0,0508
	122	0,123	0,121	0,122	0,136	0,133	+0,016	+0,008	−0,105	−0,081
0,0795....	123	0,251	0,253	0,255	0,266	0,260	−0,008	−0,016	−0,059	−0,036
(Chargée	124	0,446	0,444	0,445	0,453	0,443	+0,004	+0,002	−0,016	+0,007
de dépôts.)	125	0,678	0,670	0,671	0,675	0,659	+0,012	+0,010	+0,004	+0,028
	126	0,931	0,938	0,938	0,936	0,915	−0,005	−0,007	−0,005	+0,017
	127	1,142	1,136	1,138	1,132	1,107	+0,005	+0,003	+0,009	+0,031
	128	0,193	0,200	0,195	0,208	0,206	−0,036	−0,010	−0,078	−0,072
	129	0,385	0,378	0,380	0,390	0,386	+0,018	+0,013	−0,013	−0,003
0,0801....	129 bis.	0,614	0,603	0,606	0,611	0,605	+0,018	+0,013	+0,005	+0,015
(La même	130	0,624	0,609	0,612	0,617	0,610	+0,024	+0,019	+0,011	+0,022
nettoyée.)	131	0,864	0,894	0,899	0,897	0,887	−0,035	−0,040	−0,038	−0,027
	132	1,245	1,236	1,241	1,232	1,219	+0,009	+0,005	+0,013	+0,023
	133	1,526	1,529	1,536	1,520	1,504	−0,002	−0,006	+0,004	+0,014

DIAMÈTRE des tuyaux. (1)	N° d'ordre. (2)	Vitesses d'après l'expérience. (3)	VITESSES d'après les formules. 1-2. (4)	3-4. (5)	5. (6)	6. (7)	RAPPORTS entre les différences des vitesses déduites de l'expérience et de la formule, et les vitesses expérimentales. 1-2. (8)	3-4. (9)	5. (10)	6. (11)
		CONDUITES EN FONTE NEUVE.								
		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.				
0,0819	134	0,088	0,103	0,084	0,111	0,109	−0,182	+0,045	−0,261	−0,2380
	135	0,171	0,220	0,190	0,227	0,221	−0,286	−0,164	−0,327	−0,2920
	136	0,358	0,374	0,353	0,379	0,370	−0,045	+0,014	−0,059	−0,0335
	137	0,561	0,572	0,551	0,574	0,559	−0,019	+0,018	−0,023	+0,0035
	138	0,791	0,796	0,777	0,795	0,775	−0,006	+0,017	−0,005	+0,0202
	139	1,155	1,189	1,172	1,182	1,153	−0,003	+0,011	+0,003	+0,0270
	140	1,418	1,420	1,404	1,410	1,375	−0,005	+0,006	+0,006	+0,0303
	141	1,571	1,595	1,580	1,583	1,544	−0,015	−0,006	−0,008	+0,0172
	142	2,453	2,458	2,447	2,433	2,372	−0,002	+0,002	+0,008	+0,0330
	143	2,487	2,503	2,493	2,478	2,416	−0,006	−0,002	+0,004	+0,0285
	144	2,720	2,754	2,745	2,725	2,657	−0,012	−0,009	−0,002	+0,0231
	145	3,238	3,264	3,258	3,228	3,147	−0,008	−0,006	+0,003	+0,0281
	146	3,265	3,290	3,284	3,253	3,172	−0,008	−0,006	+0,004	+0,0284
0,137	147	0,149	0,147	0,146	0,178	0,172	+0,013	+0,020	−0,194	−0,154
	148	0,298	0,308	0,307	0,330	0,328	−0,033	−0,030	−0,137	−0,1000
	149	0,488	0,496	0,495	0,525	0,509	−0,016	−0,014	−0,076	−0,0430
	150	0,763	0,766	0,765	0,792	0,767	−0,004	−0,003	−0,033	−0,0052
	151	1,279	1,270	1,266	1,290	1,249	+0,007	+0,008	−0,009	+0,0234
	152	1,714	1,710	1,708	1,724	1,669	+0,008	+0,003	−0,006	+0,0262
	153	2,098	2,084	2,082	2,093	2,027	+0,007	+0,008	+0,002	+0,0338
	154	2,281	2,277	2,275	2,284	2,211	+0,002	+0,003	−0,001	+0,0307
	155	3,640	3,614	3,612	3,603	3,489	+0,007	+0,007	+0,010	+0,0415
	156	4,693	4,729	4,727	4,704	4,554	−0,008	−0,007	−0,002	+0,0296
0,188	157	0,205	0,186	0,200	0,212	0,208	+0,093	+0,024	−0,034	−0,015
	158	0,497	0,516	0,526	0,541	0,531	−0,038	−0,058	−0,090	−0,068
	159	0,758	0,761	0,767	0,784	0,769	−0,004	−0,012	−0,034	−0,014
	160	1,128	1,140	1,140	1,159	1,138	−0,010	−0,010	−0,027	−0,009
	161	1,488	1,479	1,473	1,496	1,468	+0,006	+0,010	−0,005	+0,013
	162	1,933	1,926	1,912	1,936	1,902	+0,004	+0,011	−0,002	+0,016
	163	2,506	2,515	2,491	2,522	2,476	−0,003	+0,000	−0,006	+0,012
	164	4,323	4,292	4,237	4,282	4,203	+0,007	+0,020	+0,009	+0,028
	165	4,928	4,952	4,886	4,936	4,845	−0,005	+0,008	−0,002	+0,017
		CONDUITES EN FONTE.								
0,2432 (Chargée de dépôts.)	166	0,307	0,313	0,307	0,314	0,313	−0,019	0,000	−0,023	−0,019
	167	0,452	0,460	0,455	0,460	0,459	−0,018	−0,007	−0,018	−0,015
	168	0,707	0,704	0,700	0,705	0,702	+0,004	+0,010	+0,005	+0,007

DIAMÈTRE des TUYAUX.	Nos d'ordre.	VITESSES d'après l'expérience.	VITESSES D'APRÈS LES FORMULES.				RAPPORTS ENTRE LES DIFFÉRENCES DES VITESSES déduites de l'expérience et de la formule, et les vitesses expérimentales.			
			1-2.	3-4.	5.	6.	1-2.	3-4.	5.	6.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
		CONDUITES EN FONTE. (Suite.)								
		mét.	mét.	mét.	mét.	mét.				
	169	1,106	1,098	1,097	1,099	1,094	+0,007	+0,008	+0,006	+0,010
0,2432	170	1,547	1,550	1,552	1,550	1,544	−0,002	−0,003	−0,002	+0,002
(Chargée de dépôts.)	171	1,833	1,833	1,836	1,833	1,825	0,000	−0,002	0,000	+0,004
	172	2,073	2,076	2,080	2,076	2,068	−0,001	−0,003	−0,001	+0,002
	173	3,833	3,833	3,847	3,831	3,816	0,000	−0,004	+0,001	+0,004
	174	0,278	0,297	0,283	0,304	0,301	−0,068	−0,018	−0,093	−0,083
	175	0,537	0,535	0,524	0,542	0,536	+0,004	+0,024	−0,009	+0,002
	176	0,949	0,936	0,930	0,941	0,932	+0,0137	+0,0200	+0,0084	+0,0178
0,2447	177	1,420	1,430	1,430	1,433	1,419	−0,0070	−0,0070	−0,0091	+0,0007
(La même nettoyée.)	178	1,904	1,900	1,907	1,902	1,884	+0,0021	−0,0015	+0,0010	+0,0105
	179	2,206	2,204	2,215	2,205	2,184	+0,0009	−0,0040	+0,0004	+0,0100
	180	2,572	2,576	2,591	2,575	2,550	−0,0015	−0,0073	−0,0012	+0,0086
	181	4,497	4,497	4,539	4,491	4,447	0,0000	−0,0093	+0,0013	+0,0111
	182	0,244	0,250	0,247	0,262	0,261	−0,0615	−0,0123	−0,0738	−0,0697
	183	0,538	0,538	0,530	0,541	0,537	0,0000	+0,0149	−0,0055	+0,0018
	184	0,823	0,811	0,806	0,813	0,808	+0,0146	+0,0207	+0,0122	+0,0182
0,297	185	1,155	1,147	1,147	1,149	1,142	+0,0069	+0,0069	+0,0051	+0,0112
(Nettoyée.)	186	1,652	1,647	1,654	1,648	1,638	+0,0030	−0,0012	+0,0024	+0,0084
	187	2,390	2,381	2,398	2,381	2,365	+0,0037	−0,0033	+0,0037	+0,0105
	188	2,799	2,808	2,831	2,807	2,789	−0,0032	−0,0114	−0,0028	+0,0035
	189	3,160	3,165	3,193	3,163	3,143	−0,0015	−0,0104	−0,0009	+0,0054
	190-91	0,44475	0,4370	0,4228	0,4776	0,4701	−0,0051	+0,0274	−0,0984	−0,0812
	192	0,4752	0,5175	0,5057	0,5515	0,5428	−0,0890	−0,0641	−0,1605	−0,1423
0,50	193	0,7932	0,7678	0,7647	0,7799	0,7676	+0,0320	+0,0359	+0,0167	+0,0323
(Neuve.)	194	0,7951	0,7855	0,7830	0,7960	0,7834	+0,0120	+0,0152	−0,0011	+0,0147
	195	1,0412	1,0450	1,0528	1,0318	1,0154	−0,0036	−0,0111	+0,0090	+0,0248
	196	1,1135	1,0979	1,1078	1,0798	1,0627	+0,0140	+0,0051	+0,0303	+0,0456
	198	1,1278	1,1486	1,1606	1,1257	1,1079	−0,0184	−0,0290	+0,0017	+0,0176

Si nous jetons les yeux sur les colonnes (8), (9), (10) et (11) du tableau précédent, lesquelles colonnes donnent les rapports des différences existant entre les vitesses expérimentales et celles déduites des formules, et ces mêmes vitesses expérimentales, et que nous formions, par tuyau, les moyennes de ces rapports

tous pris avec le signe +, nous obtiendrons le tableau synoptique suivant :

DIAMÈTRE des TUYAUX.	NATURE DES TUYAUX.	NUMÉROS d'ordre.	MOYENNES DES RAPPORTS ENTRE LES ÉCARTS et les vitesses expérimentales des formules.				OBSERVATIONS.
			1-2.	3-4.	5.	6.	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
mèt							
0,0122	Fer étiré	1	0,0065	0,0090	0,0547	0,0416	Je n'ai pas compris dans ces moyennes les vitesses au-dessous de $0^m,10$, parce que, comme je l'ai déjà dit, et comme on le verra plus tard, une loi nouvelle lie aux pentes les vitesses inférieures à $0^m,10$.
0,0266	*Idem*	2	0,0113	0,0097	0,0427	0,0369	
0,0395	*Idem*	3	0,0190	0,0473	0,1120	0,0867	
0.014	Plomb	4	0,0734	0,0453	0,0731	0,0557	
0,027	*Idem*	5	0,0262	0,0575	0,1031	0,0963	
0,041	*Idem*	6	0,0382	0,0395	0,1116	0,0994	
0,0268	Tôle et bitume	7	0,0646	0,0571	0,1251	0,0932	
0,0826	*Idem*	8	0,0506	0,0258	0,1443	0,1192	
0,196	*Idem*	9	0,0858	0,0443	0,1397	0,0914	
0,285	*Idem*	10	0,0086	0,0072	0,0689	0,0606	
0,04968	Verre	11	0,0530	0,0234	0,0092	0,0768	
0,0359	Fonte (chargée de dépôts)	12	0,0066	0,0320	0,0065	0,0065	
0,0364	Fonte (nettoyée)	13	0,0258	0,0148	0,0711	0,0661	
0,0795	Fonte (chargée de dépôts)	14	0,0080	0,0077	0,0330	0,0330	
0,0801	Fonte (nettoyée)	15	0,0200	0,0150	0,0230	0,0250	
0,0819	Fonte (neuve)	16	0,0350	0,0220	0,0380	0,0470	
0,137	*Idem*	17	0,0105	0,0100	0,0470	0,0487	
0,188	*Idem*	18	0,0180	0,0170	0,0232	0,0210	
0,2432	Fonte (chargée de dépôts)	19	0,0060	0,0040	0,0067	0,0080	
0,2447	Fonte (nettoyée)	20	0,0121	0,0114	0,0154	0,0180	
0,297	*Idem*	21	0,0118	0,0101	0,0133	0,0161	
0,50	Fonte (neuve)	22	0,0249	0,0268	0,0454	0,0512	

L'examen des colonnes (4), (5), (6), (7) montre, comme on devait du reste s'y attendre, que l'équation où les coefficients de v et de v^2 ont été calculés au moyen des formules (3) et (4) donne en général les moindres valeurs pour les rapports moyens; il montre, en même temps, que les erreurs moyennes sont très-faibles, quel que soit le procédé de calcul auquel on a eu recours, et notamment que l'équation où v entre seulement à la seconde puissance, et dont le coefficient unique a été calculé par la formule (6), offre des résultats presque concordants avec ceux fournis par les

équations (3) et (4). Cette coïncidence existe surtout pour les tuyaux recouverts d'une couche de dépôts; d'où l'on peut déduire, comme conséquence au reste déjà présentée, que, dans la pratique où les tuyaux se recouvrent très-promptement de limon, de tubercules ou de dépôts calcaires, il est préférable, à raison de la facilité qui en résulte pour les calculs, de se servir de la formule monôme.

Nous avons maintenant à préciser l'influence des surfaces dans les tuyaux de même diamètre, et des rayons des tuyaux dans les conduites où les parois présentent à peu près un égal degré de poli.

Nous nous servirons pour cela des coefficients déduits de la formule (6), dont l'exactitude vient d'être constatée.

TABLEAU INDIQUANT L'INFLUENCE DU DEGRE DE POLI DES SURFACES.

	TÔLE ET BITUME. D = 0,196	FONTE NEUVE. D = 0.188	FONTE RECOUVERTE DE DÉPÔTS. D = 0,2432	OBSERVATIONS.
Coefficient de la résistance..	0,000,433,990	0,000,584,393	0,001,167,779	

On voit que dans les tuyaux enduits de bitume, en fonte neuve, en fonte recouverte de dépôts, le coefficient de la résistance varie à peu près comme les chiffres 1, $1\frac{1}{2}$, 3; la fonte recouverte de dépôts présente donc à l'écoulement une résistance à peu près double de celle de la fonte neuve.

J'aurais pu multiplier les exemples, mais il est facile au lecteur de recourir aux tableaux généraux.

TABLEAU INDIQUANT L'INFLUENCE DES RAYONS DES TUYAUX DE MÊME DEGRÉ DE POLI SUR LE COEFFICIENT DE LA RÉSISTANCE.

NATURE des tuyaux.	NUMÉROS d'ordre.	DIAMÈTRE.	COEFFICIENT de la résistance.	OBSERVATIONS
		mèt.		
Fer étiré	1	0,0122	0,001,673	
	2	0,0266	0,000,918	
	3	0,0395	0,000,785	
Fonte	16	0,0819	0,000,695	
	17	0,137	0,000,553	
	18	0,188	0,000,584	
	21	0,297	0,000,612	
	22	0,50	0,000,509	

On remarque dans cette série de coefficients, que celui qui correspond au tuyau de $0^m,137$ est au-dessous de la valeur que lui assigneraient ses voisins, tandis que celui du tuyau de $0^m,297$ est supérieur à cette valeur. Mais j'avais constaté que le tuyau de $0^m,137$ sortait de la fonderie, et présentait un remarquable degré de poli, tandis que le tuyau de $0^m,297$ avait déjà servi, et n'était qu'un tuyau nettoyé avec soin : sa surface était donc moins nette que celle des autres, et, du reste, il suffit de la cause la plus légère pour faire varier la résistance à l'écoulement.

Si l'on fait une expérience avec un tuyau non oxydé, et qu'on la renouvelle deux ou trois jours plus tard, lorsque des traces d'oxyde enduiront la paroi, le coefficient de résistance croîtra notablement, puis reviendra le même à la suite d'écoulements rapides, pendant lesquels l'eau rougie témoigne qu'elle a entraîné les causes de l'accroissement de la résistance.

C'est pour cela que nous avons toujours cherché à opérer sans discontinuité pour le même tuyau, ou à le placer, au moyen de lavages, dans les mêmes circonstances.

Dans le tuyau de $0^m,50$, qui débitait jusqu'à 219 litres par se-

conde, il était difficile de prendre toutes ces précautions; les bassins se vidaient si promptement que l'on devait toujours se préoccuper des nécessités du service de la fourniture d'eau de Paris, et l'on a été obligé, par conséquent, de recueillir et de coordonner des expériences faites à des époques différentes.

Ainsi, toutes celles faites le 29 juillet concordent bien entre elles; elles sont au nombre de trois et comprennent les pentes, par

100 mètres, de .... $\left\{ \begin{array}{l} 0^{m},045, \\ 0\ ,120, \\ 0\ ,250. \end{array} \right.$

Le 5 août je les ai recommencées, afin de multiplier les données expérimentales, la pente de $0^{m},045$ m'a donné un résultat plus faible que le précédent; une autre pente de $0^{m},06$ n'a pas porté la vitesse au point qu'elle aurait dû atteindre d'après les résultats du 29 juillet; enfin, dans les vitesses supérieures, on est retombé à peu près sur les mêmes résultats, parce que le nettoiement des parois avait été la conséquence de ces vitesses.

J'ai placé toutes ces expériences sur les tableaux, et j'ai calculé les coefficients du tuyau de $0^{m},50$ en n'en omettant aucune; cela ne pouvait avoir aucun inconvénient, surtout pour la recherche du coefficient de la résistance dans l'équation où l'on ne conserve que la seconde puissance de la vitesse.

Mais, dans l'équation en v et v^2, l'introduction des premières expériences du 2 août a agrandi beaucoup trop le coefficient de v en aplatissant la courbe.

En dernier résultat, cela n'altère pas sensiblement, comme on le verra, la valeur définitive de la vitesse, parce que, si le coefficient de la première puissance est augmenté, celui de la seconde est diminué.

Mais il deviendra indispensable d'avoir égard aux observations qui précèdent, lorsqu'il s'agira de déterminer la loi qui lie entre eux les coefficients de v et de v^2 dans les tuyaux de différents rayons.

On vient de voir quelle était l'influence de l'état de la surface sur la résistance, et que le coefficient relatif à la fonte, par exemple, doublait dans les tuyaux sur la surface desquels une couche de dépôt s'était formée.

Il faudra donc, lorsqu'il s'agira du calcul d'une distribution d'eau, partir de ce dernier coefficient; on comprend en outre que ce coefficient devra être maintenu, soit qu'on emploie des tuyaux en tôle et bitume, ou qu'on ait recours à des tuyaux en plomb, puisque c'est en définitive sur la paroi enduite de dépôts que les eaux finiront par couler.

Je passe maintenant à la recherche de la valeur des coefficients de v et de v^2, eu égard aux diamètres des conduites, et je commence par l'équation où v entre seulement à la seconde puissance.

Après avoir cherché la loi la plus simple, et celle qui semblait le mieux répondre aux données du précédent tableau, je suis arrivé à l'expression

$$b_1 = \alpha + \frac{\beta}{R}$$

b_1 représentant le coefficient à substituer dans la formule pour un tuyau de rayon R, et α et β deux nombres constants : le terme $\frac{\beta}{R}$ diminue quand le rayon augmente; à partir du moment où il peut être supprimé sans inconvénient, le coefficient b_1 de la formule devient constant et égal à α.

Déterminons maintenant les coefficients α et β après avoir ramené l'équation ci-dessus à la forme linéaire en multipliant ses deux membres par R et faisant $b_1 R = z$: nous aurons donc à opérer sur l'équation

$$z = \alpha R + \beta$$

d'où

$$\frac{\delta}{z} = \alpha \frac{R}{z} + \frac{\beta}{z} - 1$$

et nous obtiendrons pour les valeurs de α et β:

$$\alpha = \frac{\Sigma \frac{1}{Ry} \times \Sigma \frac{1}{Ry^2} - \Sigma \frac{1}{y} \times \Sigma \frac{1}{R^2y^2}}{\Sigma \left(\frac{1}{Ry^2}\right)^2 - \Sigma \frac{1}{y^2} \times \Sigma \frac{1}{R^2y^2}}$$

$$\beta = \frac{\Sigma \frac{1}{Ry^2} \times \Sigma \frac{1}{y} - \Sigma \frac{1}{y^2} \times \Sigma \frac{1}{Ry}}{\Sigma \left(\frac{1}{Ry^2}\right)^2 - \Sigma \frac{1}{y^2} \times \Sigma \frac{1}{R^2y^2}}$$

R indiquant le rayon du tuyau, et y les résistances b_1 variables avec le rayon dans les conduites présentant à peu près le même degré de poli.

Substituant donc à la place de R et de y les huit données expérimentales du précédent tableau, on aura pour les valeurs de α et β,

$$\alpha = 0{,}000{,}502$$
$$\beta = 0{,}000{,}00636$$

d'où, en augmentant un peu ces valeurs de α et de β,

$$b_1 = 0{,}00051 + \frac{0{,}000{,}0065}{R}$$

b_1 représentant la valeur à substituer dans la formule

$$Ri = b_1 v^2$$

Le tableau suivant donne les valeurs de b_1 correspondant à celles déduites de l'expérience et de la formule pour les huit rayons :

$0^m{,}0061$
0 ,0133
0 ,01975
0 ,04095
0 ,0685
0 ,094
0 ,1485
0 ,25

DIAMÈTRES.	VALEURS DE b_1 DÉDUITES DE L'EXPÉRIENCE.	VALEURS DE b_1 DÉDUITES DE L'INTERPOLATION.	OBSERVATIONS.
mèt.			
0,0122	0,001,673	0,001,568	Voir l'observation placée dans la colonne (6) du tableau suivant, en ce qui concerne l'expression qui donne les différentes valeurs de b_1.
0,0266	0,000,918	0,000,993	
0,0395	0,000,785	0,000,835	
0,0819	0,000,695	0,000,665	
0,137	0,000,553	0,000,601	
0,188	0,000,584	0,000,576	
0,297	0,000,612	0,000,551	
0,50	0,000,509	0,000,532	

Les deux écarts relatifs aux tuyaux de $0^m,137$ et de $0^m,297$ dépassent assez notablement les autres, ainsi que cela devait être, d'après les observations que *j'ai eu l'occasion* de faire sur ces tuyaux.

Le tableau suivant donne toutes les valeurs de b_1, $\frac{b_1}{R}$, $\sqrt{\frac{R}{b_1}}$ pour les diamètres depuis $0^m,01$ jusqu'à 1 mètre.

DIAMÈTRES. (1)	RAYONS. (2)	b_1. (3)	$\frac{b_1}{R}$. (4)	$\sqrt{\frac{R}{b_1}}$ (5)	OBSERVATIONS (6)
mèt.	mèt.				
0,01	0,005	0,001,801	0,360,20	1,666	NOTA. Nous venons de poser pour calculer les valeurs de b_1, la formule
0,02	0,01	0,001,154	0,115,40	2,943	
0,027	0,0135	0,000,986	0,073,056	3,699	$b_1 = 0,00051 + \frac{0,0000065}{R}$
0,03	0,015	0,000,938	0,062,555	3,998	
0,04	0,02	0,000,830	0,041,523	4,907	où il n'entre que deux chiffres significatifs ; mais, en fait, tous les calculs ont été effectués au moyen de la formule
0,05	0,025	0,000,765	0,030,632	5,713	
0,054	0,027	0,000,746	0,027,653	6,013	
0,06	0,03	0,000,722	0,024,089	6,443	
0,07	0,035	0,000,691	0,019,767	7,112	
0,08	0,04	0,000,668	0,016,718	7,733	$b_1 = 0,000507 + \frac{0,00000647}{R}$
0,081	0,0405	0,000,666	0,016,463	7,793	
0,09	0,045	0,000,650	0,014,461	8,315	déduite de procédés graphiques, et presque identique à celle obtenue par la méthode des moindres carrés.
0,10	0,05	0,000,636	0,012,728	8,863	
0,108	0,054	0,000,626	0,011,607	9,231	
0,11	0,055	0,000,624	0,011,357	9,383	
0,12	0,06	0,000,614	0,010,247	9,878	Si l'on a compris, dans ce tableau, les diamètres 0,027, 0,054, 0,081, 0,108, 0,135, 0,162, 0,216, 0,325, c'est qu'ils sont employés dans la fourniture d'eau de Paris.
0,13	0,065	0,000,606	0,009,331	10,352	
0,135	0,067	0,000,602	0,008,931	10,581	
0,14	0,07	0,000,509	0,008,563	10,806	
0,15	0,075	0,000,593	0,007,910	11,243	
0,16	0,08	0,000,587	0,007,348	11,665	

DIAMÈTRES. (1)	RAYONS. (2)	b_1. (3)	$\frac{b_1}{R}$. (4)	$\sqrt{\frac{R}{b_1}}$. (5)	OBSERVATIONS. (6)
mèt.	mèt.				
0,162	0,081	0,000,586	0,007,245	11,746	
0,17	0,085	0,000,583	0,006,860	12,073	
0,18	0,09	0,000,578	0,006,432	12,468	
0,19	0,095	0,000,575	0,006,053	12,705	
0,20	0,10	0,000,571	0,005,717	13,225	
0,21	0,105	0,000,568	0,005,415	13,588	
0,216	0,108	0,000,566	0,005,249	13,802	
0,22	0,11	0,000,565	0,005,143	13,943	
0,23	0,115	0,000,563	0,004,897	14,288	
0,24	0,12	0,000,560	0,004,674	14,626	
0,25	0,125	0,000,558	0,004,470	14,956	
0,26	0,13	0,000,556	0,004,282	15,280	
0,27	0,135	0,000,554	0,004,110	15,597	
0,28	0,14	0,000,553	0,003,951	15,908	
0,29	0,145	0,000,551	0,003,804	16,213	
0,30	0,15	0,000,550	0,003,667	16,512	
0,31	0,155	0,000,548	0,003,540	16,806	
0,32	0,16	0,000,547	0,003,421	17,095	
0,325	0,1625	0,000,546	0,003,365	17,236	
0,33	0,165	0,000,546	0,003,310	17,380	
0,34	0,17	0,000,545	0,003,206	17,660	
0,35	0,175	0,000,543	0,003,108	17,936	
0,36	0,18	0,000,542	0,003,016	18,207	
0,37	0,185	0,000,541	0,002,929	18,475	
0,38	0,19	0,000,541	0,002,847	18,739	
0,39	0,195	0,000,540	0,002,770	18,999	
0,40	0,20	0,000,539	0,002,696	19,256	
0,41	0,205	0,000,538	0,002,627	19,510	
0,42	0,21	0,000,537	0,002,561	19,760	
0,43	0,215	0,000,537	0,002,498	20,007	
0,44	0,22	0,000,536	0,002,438	20,251	
0,45	0,225	0,000,535	0,002,381	20,493	
0,46	0,23	0,000,535	0,002,326	20,731	
0,47	0,235	0,000,534	0,002,274	20,967	
0,48	0,24	0,000,533	0,002,224	21,200	
0,49	0,245	0,000,533	0,002,177	21,431	
0,50	0,25	0,000,532	0,002,131	21,659	
0,55	0,275	0,000,530	0,001,929	22,767	
0,60	0,30	0,000,528	0,001,761	23,823	
0,65	0,325	0,000,526	0,001,621	24,835	
0,70	0,35	0,000,525	0,001,501	25,807	
0,75	0,375	0,000,524	0,001,398	26,745	
0,80	0,40	0,000,523	0,001,307	27,650	
0,85	0,425	0,000,522	0,001,228	28,527	
0,90	0,45	0,000,521	0,001,158	29,378	
0,95	0,475	0,000,520	0,001,096	30,205	
1,00	0,50	0,000,519	0,001,039	31,010	

Il ne convient pas de faire usage, dans les distributions, de tuyaux au-dessous de 0m,06 de diamètre; ce calibre même ne doit être employé qu'à titre exceptionnel, en raison des dépôts qui tapissent promptement les parois; mon opinion serait qu'on doit s'arrêter à 0m,08. (Je ne parle pas des tuyaux en plomb de 0m,027 à 0m,04 de diamètre destinés à l'alimentation des bornes-fontaines et aux distributions intérieures.)

D'autre part, la limite à laquelle on s'est arrêté jusqu'à présent pour les diamètres supérieurs est de 1 mètre.

On voit donc que les coefficients de la résistance étant pour les tuyaux de 0m,06 de........................ 0,000,72267
et pour ceux de 1 mètre de.................. 0,000,51994
le rapport maximum entre les coefficients et les résistances est $\frac{72}{52}$.

Mais il se rapproche promptement de l'unité.

Ainsi, quand il s'agit de diamètres plus fréquemment employés, et variant entre 0m,12 et 0m,30, ce rapport devient $\frac{61}{55}$.

De plus, les vitesses étant entre elles seulement comme les racines carrées du numérateur et du dénominateur, c'est-à-dire comme 7,79 est à 7,41, il n'y a pas grand inconvénient à considérer comme constant, dans ces limites, le plus grand coefficient, si la simplification des calculs de la distribution d'eau l'exigeait.

On se rappelle que dans le premier chapitre de ce Mémoire j'ai donné l'équation calculée par de Prony, lorsqu'on n'emploie que la deuxième puissance de v^2 pour évaluer les résistances.

Cette équation est :

$$v = 26^{m},79\sqrt{DJ}$$

elle correspond au diamètre de 0m,10 pour lequel le coefficient de la résistance est........................ 0m,000,6364

Il est donc tout naturel que cette formule donne, au-dessous et au-dessus de ce diamètre, des produits, soit plus faibles, soit plus forts que ceux résultant des expériences.

On trouvera, à la suite de ce Mémoire, des tables calculées au moyen du tableau des valeurs de b_1, $\frac{b_1}{R}$, $\sqrt{\frac{R}{b_1}}$.

Ces tables comprennent tous les tuyaux énumérés dans ce tableau, et des vitesses variant d'*un* en *un* centimètre entre $0^m,10$ et $0^m,50$,

De *deux* en *deux* centimètres entre $0^m,50$ et 2 mètres,

Enfin de *cinq* en *cinq* centimètres entre 2 et 3 mètres.

Elles se terminent à la vitesse de 3 mètres. Mais comme mes expériences arrivent jusqu'à la vitesse de 6 mètres, on comprend que l'on peut avoir recours aux formules au moins jusqu'à cette dernière.

Je terminerai ce qui a rapport à ces tables par deux observations pratiques.

Première observation. — En vertu des faits précédemment démontrés, il convient, lorsqu'on cherche la pente correspondant à une vitesse déterminée, de doubler cette pente dans la pratique, ou, si la pente est donnée, de la diviser par deux, et de ne compter que la vitesse correspondant au quotient de cette division.

Ainsi, l'on aura égard au retard que les dépôts font éprouver à la vitesse.

Deuxième observation. — Mais, indépendamment de ce retard provenant des aspérités des parois, il existe une autre cause qui affaiblit le volume de l'écoulement : elle est due à l'épaisseur de la couche déposée.

Pour y remédier, il importe, suivant la nature des eaux à conduire, d'augmenter les diamètres trouvés d'une certaine quantité d'autant plus nécessaire à ajouter que les diamètres sont plus faibles.

Passons maintenant à la recherche des formules d'interpolation des coefficients des première et seconde puissances de v dans l'équation générale,

$$Ri = av + bv^2$$

et d'abord, composons le tableau des valeurs déduites de l'expérience :

NATURE DES TUYAUX.	NUMÉROS d'ordre.	DIAMÈTRE.	COEFFICIENT DE v.	COEFFICIENT DE v^2.	OBSERVATIONS.
		mèt.			
Fer étiré	1	0,0122	0,000,142,255	0,001,361,42	
	2	0,0266	0,000,046,486	0,000,840,034	
	3	0,0395	0,000,037,832	0,000,607,582	
Fonte.......	16	0,0819	0,000,044,881	0,000,634,45	
	17	0,137	0,000,038,825	0,000,505,527	
	18	0,188	0,000,012,276	0,000,572,07	
	21	0,297	0,000,023,508	0,000,585,33	
	22	0,50	0,000,100,482	0,000,387,113	

L'examen de ce tableau donne lieu à plusieurs remarques :

1° On comprend que le coefficient de v^2 du tuyau de $0^m,137$ doit être trop petit à raison du fait que nous avons déjà rapporté, savoir : que ce tuyau sortait des fonderies et présentait une surface parfaitement nette,

2° Que dans le tuyau de $0^m,50$ le coefficient de la première puissance de la vitesse présentait une valeur relative trop forte, comparativement au coefficient de la deuxième puissance de la vitesse, attendu que les expériences du 5 août, par les raisons que j'ai indiquées, ont donné pour les petites vitesses des valeurs trop faibles, ce qui a dû notamment accroître le coefficient de v, et diminuer en même temps celui de v^2. Il convient donc de rechercher de nouveau les coefficients a et b en n'employant que des expériences faites exactement dans les mêmes circonstances, afin d'obtenir un rapport aussi exact que possible entre les coefficients précités.

J'ai donc recommencé les calculs des formules (3) et (4) en n'y introduisant que les données suivantes :

i	v	DATES.
0^m,000,45	0^m,4488	29 juillet,
0 ,000,12	0 ,7932	29 juillet,
0 ,000,21	1 ,0412	5 août[1],
0 ,000,23	1 ,1135	2 août,
0 ,000,25	1 ,2278	29 juillet,
0 ,000,26	1 ,1197	5 août,

d'où

$$a = 0{,}000{,}049{,}780$$
$$b = 0{,}000{,}438{,}124.$$

3° Le tuyau de 0^m,297 était, comme on l'a vu, un tuyau bien nettoyé, mais non pas un tuyau neuf : le coefficient de la deuxième puissance devait donc être un peu trop fort, et celui de la première puissance trop faible; on a constamment observé, en effet, que plus les aspérités croissent, plus diminuent en même temps les coefficients de v.

4° Enfin, comme on avait mené les expériences dans le tuyau de 0^m,188 jusqu'à une vitesse moyenne de 4^m,928, on comprend que les grandes vitesses devaient obtenir dans la formation de l'équation de la courbe une influence qui se traduisait naturellement par la diminution disproportionnée du coefficient de v.

Du reste, on remarquera que les formules (1) et (2) qui modifient dans un sens convenable le rapport des coefficients a et b, présentent pour les vitesses théoriques exactement le même degré d'approximation; on pourra donc adopter les coefficients :

$$a = 0{,}000{,}034{,}145$$
$$b = 0{,}000{,}552{,}448.$$

Le tableau des données destinées à calculer les lois existant

[1] J'ai conservé les résultats des 5 et 2 août, parce que les lavages opérés par les expériences précédentes avaient suffisamment enlevé toutes les rugosités de l'oxyde.

entre les coefficients de la première puissance de v d'une part, et de la seconde puissance d'autre part, deviendra donc :

NATURE DES TUYAUX.	NUMÉROS d'ordre.	DIAMÈTRE.	COEFFICIENT DE v. (a)	COEFFICIENT DE v^2. (b)	OBSERVATIONS
		mét.			
Fer étiré	1	0,0122	0,000,142,255	0,001,361,42	
	2	0,0266	0,000,048,486	0,000,840,034	
	3	0,0395	0,000,037,382	0,000,697,532	
Fonte	16	0,0819	0,000,044,881	0,000,634,45	
	17	0,137	0,000,038,825	0,000,505,827	
	18	0,188	0,000,034,145	0,000,552,418	
	21	0,297	0,000,023,508	0,000,385,53	
	22	0,500	0,000,049,780	0,000,438,124	

Il nous reste maintenant à interpoler ces résultats.

Pour les coefficients de v^2, nous aurons recours à la formule déjà employée :

$$b = \alpha + \frac{\beta}{R}$$

Pour les coefficients de v, nous emploierons la suivante :

$$a = \alpha' + \frac{\beta'}{R^2}.$$

Cette différence des deux formules d'interpolation peut, comme on le verra plus tard, recevoir une interprétation satisfaisante.

Faisant donc dans les formules :

$$\left\{\begin{aligned} \alpha &= \frac{\Sigma \frac{1}{Ry} \times \Sigma \frac{1}{Ry^2} - \Sigma \frac{1}{y} \times \Sigma \frac{1}{R^2y^2}}{\left(\Sigma \frac{1}{Ry^2}\right)^2 - \Sigma \frac{1}{y^2} \times \Sigma \frac{1}{R^2y^2}} \\ \beta &= \frac{\Sigma \frac{1}{Ry^2} \times \Sigma \frac{1}{y} - \Sigma \frac{1}{y^2} \times \Sigma \frac{1}{Ry}}{\left(\Sigma \frac{1}{Ry^2}\right)^2 - \Sigma \frac{1}{y^2} \times \Sigma \frac{1}{R^2y^2}} \end{aligned}\right.$$

$$\left\{\begin{aligned}\alpha' &= \frac{\Sigma\frac{1}{R^2y}\times\Sigma\frac{1}{R^2y^2}-\Sigma\frac{1}{y}\times\Sigma\frac{1}{R^4y^2}}{\left(\Sigma\frac{1}{R^2y^2}\right)^2-\Sigma\frac{1}{y^2}\times\Sigma\frac{1}{R^4y^2}}\\ \beta' &= \frac{\Sigma\frac{1}{R^2y^2}\times\Sigma\frac{1}{y}-\Sigma\frac{1}{y^2}\times\Sigma\frac{1}{R^2y}}{\left(\Sigma\frac{1}{R^2y^2}\right)^2-\Sigma\frac{1}{y^2}\times\Sigma\frac{1}{R^4y^2}}\end{aligned}\right.$$

les substitutions[1] déduites des données expérimentales, on obtiendra :

$$\text{pour}\left\{\begin{aligned}\alpha &= 0{,}000{,}442{,}939\\ \beta &= 0{,}000{,}006{,}201\end{aligned}\right.$$

$$\text{pour}\left\{\begin{aligned}\alpha' &= 0{,}000{,}031{,}635\\ \beta' &= 0{,}000{,}000{,}003{,}755{,}6\end{aligned}\right.$$

d'où l'on tirera

$$a = 0{,}000{,}031{,}635 + \frac{0{,}000{,}000{,}003{,}755{,}6}{R^2}$$

$$b = 0{,}000{,}442{,}939 + \frac{0{,}000{,}006{,}201}{R}.$$

Mettant maintenant à la place de R ses valeurs successives, on pourra construire le tableau suivant :

NATURE DES TUYAUX.	NUMÉROS d'ordre.	DIAMÈTRE DES TUYAUX.	VALEURS DE *a* expérimentales.	VALEURS DE *a* d'après la formule.	VALEURS DE *b* expérimentales.	VALEURS DE *b* d'après la formule.
		mèt.				
Fer étiré...	1	0,0122	0,000,142,255	0,000,132,502	0,001,361,42	0,001,459,419
	2	0,0266	0,000,048,486	0,000,052,866	0,000,840,034	0,000,909,146
	3	0,0395	0,000,037,832	0,000,041,263	0,000,697,532	0,000,756,691
Fonte.....	16	0,0819	0,000,044,881	0,000,033,874	0,000,634,45	0,000,594,537
	17	0,137	0,000,038,825	0,000,032,435	0,000,505,527	0,000,533,458
	18	0,188	0,000,034,145	0,000,032,060	0,000,552,448	0,000,508,903
	21	0,297	0,000,023,508	0,000,031,805	0,000,585,53	0,000,484,685
	22	0,500	0,000,049,780	0,000,031,695	0,000,438,124	0,000,467,741

[1] On se rappelle que y représente les valeurs successives des coefficients de v et de v^2.

Nous donnerons maintenant la série des valeurs de *a* et de *b* correspondant à tous les rayons compris dans nos tables.

DIAMÈTRES.	RAYONS.	a. (1)	b. (2)	a_1. (3)	OBSERVATIONS.
mèt.	mèt.				
0,01	0,005	0,000,181,854	0,001,683,039	0,000,178,824	Les valeurs a_1 de la colonne 3 se rapportent, comme on va le voir, aux vitesses au-dessous de $0^m,10$ et données par l'équation $R_1 = a_1 v$ dans les tuyaux de petit diamètre.
0,02	0,01	0,000,060,189	0,001,062,989	0,000,103,735	
0,027	0,0135	0,000,052,240	0,000,902,239	0,000,084,268	
0,03	0,015	0,000,048,325	0,000,836,309	0,000,078,705	
0,04	0,02	0,000,041,023	0,000,752,969	0,000,066,191	
0,05	0,025	0,000,037,643	0,000,690,959	0,000,058,682	
0,054	0,027	0,000,036,786	0,000,672,580	0,000,056,457	
0,06	0,03	0,000,035,807	0,000,649,619	0,000,053,676	
0,07	0,035	0,000,034,700	0,000,620,099	0,000,050,100	
0,08	0,04	0,000,033,981	0,000,597,949	0,000,047,419	
0,081	0,0405	0,000,033,924	0,000,596,039	0,000,047,187	
0,09	0,045	0,000,033,489	0,000,580,729	0,000,045,333	
0,10	0,05	0,000,033,136	0,000,566,949	0,000,043,664	
0,108	0,054	0,000,032,922	0,000,557,759	0,000,042,552	
0,11	0,055	0,000,032,876	0,000,555,679	0,000,042,299	
0,12	0,06	0,000,032,677	0,000,546,270	0,000,041,161	
0,13	0,065	0,000,032,523	0,000,538,332	0,000,040,199	
0,135	0,0675	0,000,032,458	0,000,534,799	0,000,039,771	
0,14	0,07	0,000,032,401	0,000,531,518	0,000,039,373	
0,15	0,075	0,000,032,302	0,000,525,613	0,000,038,658	
0,16	0,08	0,000,032,221	0,000,520,446	0,000,038,033	
0,162	0,081	0,000,032,207	0,000,519,480	0,000,037,917	
0,17	0,085	0,000,032,154	0,000,515,887	0,000,036,980	
0,18	0,09	0,000,032,098	0,000,511,834	0,000,036,990	
0,19	0,095	0,000,032,050	0,000,508,208	0,000,036,561	
0,20	0,10	0,000,032,010	0,000,504,944	0,000,036,155	
0,21	0,105	0,000,031,975	0,000,501,992	0,000,035,798	
0,216	0,108	0,000,031,956	0,000,500,351	0,000,035,599	
0,22	0,11	0,000,031,945	0,000,499,308	0,000,035,473	
0,23	0,115	0,000,031,918	0,000,496,857	0,000,035,176	
0,24	0,12	0,000,031,895	0,000,494,610	0,000,034,904	
0,25	0,125	0,000,031,875	0,000,492,543	0,000,034,654	
0,26	0,13	0,000,031,856	0,000,490,636	0,000,034,422	
0,27	0,135	0,000,031,840	0,000,488,869	0,000,034,209	
0,28	0,14	0,000,031,826	0,000,487,229	0,000,034,010	
0,29	0,145	0,000,031,813	0,000,485,701	0,000,033,825	
0,30	0,15	0,000,031,801	0,000,484,276	0,000,033,652	
0,31	0,155	0,000,031,791	0,000,482,943	0,000,033,491	
0,32	0,16	0,000,031,781	0,000,481,692	0,000,033,339	
0,325	0,1625	0,000,031,776	0,000,481,096	0,000,033,267	
0,33	0,165	0,000,031,772	0,000,480,518	0,000,033,197	
0,34	0,17	0,000,031,764	0,000,479,413	0,000,033,063	
0,35	0,175	0,000,031,757	0,000,478,371	0,000,032,937	

DIAMÈTRES.	RAYONS.	a. (1)	b. (2)	a_1. (3)	OBSERVATIONS.
mèt.	mèt.				
0,36	0,18	0,000,031,750	0,000,477,386	0,000,032,818	
0,37	0,185	0,000,031,744	0,000,476,455	0,000,032,705	
0,38	0,19	0,000,031,738	0,000,475,573	0,000,032,598	
0,39	0,195	0,000,031,733	0,000,474,737	0,000,032,497	
0,40	0,20	0,000,031,728	0,000,473,942	0,000,032,401	
0,41	0,205	0,000,031,724	0,000,473,186	0,000,032,309	
0,42	0,21	0,000,031,719	0,000,472,465	0,000,032,222	
0,43	0,215	0,000,031,715	0,000,471,779	0,000,032,139	
0,44	0,22	0,000,031,712	0,000,471,123	0,000,032,060	
0,45	0,225	0,000,031,708	0,000,470,497	0,000,031,984	
0,46	0,23	0,000,031,705	0,000,469,898	0,000,031,911	
0,47	0,235	0,000,031,702	0,000,469,324	0,000,031,842	
0,48	0,24	0,000,031,699	0,000,468,775	0,000,031,775	
0,49	0,245	0,000,031,697	0,000,468,247	0,000,031,711	
0,50	0,25	0,000,031,694	0,000,467,741	0,000,031,650	
0,55	0,275	0,000,031,684	0,000,465,486	0,000,031,377	
0,60	0,30	0,000,031,676	0,000,463,607	0,000,031,149	
0,65	0,325	0,000,031,670	0,000,462,018	0,000,030,957	
0,70	0,35	0,000,031,665	0,000,460,655	0,000,030,792	
0,75	0,375	0,000,031,661	0,000,459,474	0,000,030,649	
0,80	0,40	0,000,031,658	0,000,458,440	0,000,030,524	
0,85	0,425	0,000,031,655	0,000,457,529	0,000,030,413	
0,90	0,45	0,000,031,653	0,000,456,718	0,000,030,315	
0,95	0,475	0,000,031,651	0,000,455,993	0,000,030,227	
1,00	0,50	0,000,031,649	0,000,455,340	0,000,030,148	

Nous avons dit que l'on pouvait, jusqu'à un certain point, s'expliquer pourquoi il existe une différence dans l'expression algébrique qui représente les décroissements des coefficients de la première et de la seconde puissance de v, à partir du diamètre de $0^m,0122$.

Il est naturel, en effet, que le décroissement du premier soit plus rapide.

Car, aux causes réelles qui font naître ces diminutions, vient s'ajouter encore celle résultant de ce que, dans les grandes vitesses, les formules d'interpolation tendent à sacrifier le premier coefficient au second, à ce point, qu'à partir d'une certaine vitesse la valeur du débit ne semble point affectée par la suppression du premier terme.

Aussi verra-t-on plus tard qu'en dirigeant les expériences de manière à n'obtenir que de très-faibles vitesses, le coefficient du premier terme reprendra son caractère, et que même la loi algébrique de son décroissement reparaîtra sous la forme

$$a_1 = \alpha' + \frac{\beta'}{R}$$

dans laquelle

$$\alpha' = 0{,}000{,}028{,}647$$
$$\beta' = 0{,}000{,}000{,}751$$

Ce sont les valeurs déduites de la formule ci-dessus qui sont indiquées dans la colonne (3) du tableau précédent.

La similitude des colonnes (1) et (3), à partir du diamètre de $0^m{,}15$, rend assez indifférent l'usage de l'une ou de l'autre. Je pense cependant qu'il est plus logique d'employer les valeurs de la colonne (1), puisqu'elles se lient à celles de la colonne (2) au moyen de l'interpolation.

On devra seulement avoir recours à celles de la colonne (3) lorsque les vitesses ne dépasseront pas $0^m{,}10$ par seconde dans des tuyaux à parois suffisamment lisses : alors évidemment il ne faudra avoir aucun égard au terme en v^2; la vitesse étant donnée, dans cette circonstance, comme nous le ferons voir plus tard, par une expression de la forme

$$Ri = a_1 v.$$

On remarquera encore, en jetant les yeux sur le tableau des valeurs de a et b, que les coefficients de la première puissance s'approchent très-rapidement de l'uniformité. On voit aussi qu'il en est de même de ceux de la seconde, quoique à un degré un peu moindre.

Dans les applications, il sera donc très-permis de regarder les coefficients de a et de b comme constants, dans les limites que l'on considérera, pourvu qu'il ne s'agisse pas de tuyaux de très-petit diamètre, auxquels du reste on a rarement recours dans

16

les applications, excepté pour le cas spécial de l'alimentation des bornes-fontaines.

La formule de Prony, rapportée dans notre premier chapitre, est :

$$\frac{1}{4} \mathrm{DJ} = 0,000,017,331,4\ v + 0,000,348,259\ v^2$$

ou

$$\mathrm{R}i = 0\ ,000,034,662,8\ v + 0,000,696,518\ v^2.$$

Elle correspond ainsi à celle du tuyau de $0^m,05$ de diamètre.

On comprend donc, selon que je l'ai déjà fait observer, qu'au-dessus ou au-dessous de ce diamètre l'expérience donne des résultats plus petits ou plus grands que ceux de la formule précitée.

Inutile d'ajouter que l'emploi de la formule à deux termes, à laquelle au reste, je le répète, il parait tout à fait superflu de recourir dans la pratique, exigera, si on voulait en faire usage, les mêmes précautions que celles indiquées pour la formule à un seul terme.

Une réflexion se présente quand on examine les dernières valeurs de a et de b portées sur le tableau.

On pourrait se dire : puisque ces valeurs ne paraissent plus susceptibles de diminution, quel que soit le diamètre, ne devraient-elles pas être considérées comme les coefficients de résistance pouvant servir à déterminer la vitesse moyenne de l'eau dans les rivières?

Dans ce cas, la formule deviendrait

$$0,000,015,5\ v + 0,000,227,5\ v^2 = \frac{\mathrm{R}}{2}\ i$$

puisque c'est le rayon moyen ou $\frac{\pi \mathrm{R}^2}{2\pi \mathrm{R}} = \frac{\mathrm{R}}{2}$ qui doit entrer dans le second terme.

Mais il est évident que cette formule donnerait en général des résultats trop forts.

D'une part, dans les tuyaux, le rapport du périmètre à la surface est toujours un minimum.

D'autre part, la régularité mathématique, et la netteté relative de leurs parois assureront toujours aux tuyaux une grande supériorité pour l'écoulement.

Aussi les formules expérimentales de MM. de Prony et d'Eytelwein sont-elles :

$$0{,}000{,}044{,}449{,}9\ v + 0{,}000{,}309{,}314\ v^2 = \mathrm{R}i$$ [1]

et

$$0{,}000{,}024{,}265\quad v + 0{,}000{,}365{,}543\ v^2 = \mathrm{R}i.$$

Si la formule de Prony pour les tuyaux,

$$0{,}000{,}017{,}331{,}4\ v + 0{,}000{,}348{,}259\ v^2 = \frac{\mathrm{R}}{2}\,i$$

parait, contrairement à celle qui résulte de mes tableaux, coïncider à peu près avec celle des rivières, cela tient encore à ce que la première, établie au moyen de tuyaux de petit diamètre, ou d'une grande section mais recouverts de dépôts, donne à la résistance des valeurs plus grandes que celles exigées pour les grands diamètres dont les parois présentaient le degré de poli ordinaire.

C'est toujours la conséquence de cette même compensation confuse que j'ai déjà eu l'occasion de signaler.

Il est inutile de rechercher les équations qui conviendraient à l'écoulement de l'eau dans les tuyaux en tôle et bitume, parce que, comme nous l'avons fait observer, ils finiront, bien qu'à une époque plus reculée, par se recouvrir de dépôts, et qu'en dernier résultat, c'est toujours cette fin qu'il faut considérer.

Il nous a suffi de montrer que dans ces tuyaux, lorsqu'ils étaient neufs, le coefficient de v^2 diminuait notablement, tandis que celui de v, au contraire, prenait une valeur plus grande : double résultat qui contribuait à faire abaisser au-dessous de l'axe des x l'origine de la parabole, et qui tendait par conséquent à présenter pour la loi d'écoulement des parties de la ligne dont le rayon de courbure était beaucoup plus grand.

[1] R, rayon moyen ou surface divisée par le contour.

Ainsi grandissait dans ces conduites l'influence relative du coefficient de la première puissance.

Les tuyaux en plomb donnent lieu de faire une autre observation :

C'est que, tandis que dans les tuyaux en fer étiré les coefficients de la résistance, calculés au moyen de la formule (6), prennent pour les tuyaux de $0^m,0122$ et $0^m,0395$ les valeurs successives :

0,001,684
0,000,808

les mêmes coefficients deviennent dans les tuyaux en plomb de $0^m,014$ et $0^m,041$:

0,000,810
0,000,757.

Ainsi, à partir des petits diamètres, l'affaiblissement des coefficients de la résistance paraît beaucoup moins rapide, ce qui doit tenir à ce que la couche annulaire et presque immobilisée, dont il a déjà été question, devait être beaucoup moins épaisse dans les tuyaux repoussés en plomb, lesquels étaient d'un poli presque parfait, que dans les tuyaux en fer étiré.

On aurait eu évidemment la même remarque à faire dans les tuyaux en tôle et bitume, si nous eussions pu opérer sur des tuyaux d'un centimètre.

CHAPITRE V.

VITESSES RELATIVES DES FILETS FLUIDES.

Lorsqu'un tuyau cylindrique livre passage à une masse fluide coulant avec une vitesse moyenne quelconque, cet écoulement s'opère, ainsi que nous l'avons déjà vu (chap. I), comme si cette masse fluide était composée d'une infinité de couches ou enveloppes concentriques se mouvant avec des vitesses d'autant plus grandes qu'elles sont plus éloignées de la paroi.

La vitesse maximum se trouve dans l'axe du tuyau, la vitesse minimum à la paroi; la vitesse moyenne, placée à une distance plus rapprochée de la paroi que de l'axe, est d'ailleurs liée par une relation assez simple avec les vitesses maximum et *minimum*.

Quelle peut être la loi existant entre les vitesses de ces diverses enveloppes concentriques? A quelle distance de l'axe la vitesse moyenne est-elle située? Quelle est la valeur de cette dernière en fonction des vitesses au centre et à la paroi?

Telles sont les trois questions que je vais chercher à résoudre.

L'expérience seule pouvait faire connaître la vitesse avec laquelle cheminaient les diverses enveloppes concentriques.

Pour arriver à ce résultat j'ai eu recours à l'appareil suivant: j'ai introduit dans le tuyau soumis à l'expérience un tube très-délié, creux, verticalement placé et passant par le centre; sur la portion de ce tube intérieure au tuyau était fixé perpendiculairement un petit ajutage, dont l'orifice présentait un diamètre d'environ 1 millimètre.

Cette espèce de tube de Pitot avait, au moyen de parties flexibles, la possibilité de s'élever et de s'abaisser de telle sorte que le petit ajutage pût correspondre à tous les points du diamètre intérieur du tuyau. De plus, il se terminait par un tube en verre; enfin, un tube manométrique s'élevait à côté du tube de Pitot et dans le même plan normal au tuyau.

Le tube manométrique indiquait la pression à laquelle l'eau était soumise dans le tuyau; le tube de Pitot, la hauteur totale due à cette pression et à la vitesse de la couche à laquelle correspondait l'ajutage.

Ainsi, la différence exprimait la hauteur due à la vitesse: cette dernière pouvait donc être facilement calculée; je dirai plus tard les petites corrections qu'il était nécessaire d'effectuer.

Or, supposons que par ce procédé j'aie obtenu pour un tuyau:

1° Les vitesses du filet central correspondant à diverses pentes, ou

$$v, v_1, v_2, v_3, \ldots$$

2° Les vitesses de la couche correspondant au tiers du rayon, ou

$$v', v'_1, v'_2, v'_3.....$$

3° Celles de la couche correspondant aux deux tiers du même rayon, ou

$$v'', v''_1, v''_2, v''_3.....$$

Supposons, en outre, que l'on prenne les différences existant entre les vitesses du filet central, et celles trouvées au tiers et aux deux tiers du rayon,

Les premières seront:

$$v - v', \quad v_1 - v'_1, \quad v_2 - v'_2, \quad v_3 - v'_3.....$$

Les secondes,

$$v - v'', \quad v_1 - v''_1, \quad v_2 - v''_2, \quad v_3 - v''_3.....$$

Supposons enfin que les pentes par mètre correspondantes aient pour valeurs,

$$i, \quad i', \quad i'', \quad i'''.....$$

L'expérience, comme nous le verrons, apprend que les rapports :

$$\frac{v - v'}{\sqrt{i}}, \quad \frac{v_1 - v'_1}{\sqrt{i'}}, \quad \frac{v_2 - v'_2}{\sqrt{i''}}, \quad \frac{v_3 - v'_3}{\sqrt{i'''}}.....$$

sont constants; et qu'il en est de même des rapports

$$\frac{v - v''}{\sqrt{i}}, \quad \frac{v_1 - v''_1}{\sqrt{i'}}, \quad \frac{v_2 - v''_2}{\sqrt{i''}}, \quad \frac{v_3 - v''_3}{\sqrt{i'''}}.....$$

que, par conséquent, la vitesse d'une enveloppe concentrique placée à une distance constante du centre est liée à la pente du tuyau par la relation

$$V - v = K' \sqrt{i},$$

V étant la vitesse au centre, v la vitesse de cette couche.

Si maintenant nous recherchons quel est, pour une pente donnée, le rapport existant entre les différences

$$V - v'$$
$$V - v''$$
$$\ldots\ldots$$

et les rayons r', r'', etc. v' étant placé à la distance r', v'' à la distance r'' de l'axe du tuyau, l'expérience nous montrera également que les expressions :

$$\frac{V - v_1}{r'^{\frac{3}{2}}}$$
$$\frac{V - v''}{r''^{\frac{3}{2}}}$$
$$\ldots\ldots$$

sont constantes, nous aurons donc

$$V - v = K'' r^{\frac{3}{2}}$$

d'où nous déduirons en général, pour la relation existant dans un même tuyau, entre les différences $V - v$, la pente et la distance du centre r de la couche que l'on considère:

$$V - v = K_1 r^{\frac{3}{2}} \sqrt{i}.$$

En passant d'un tuyau à l'autre, j'ai remarqué que K_1 variait, et que pour le rendre constant, il fallait le multiplier par le rayon du tuyau soumis à l'épreuve.

On a donc enfin pour la formule définitive cherchée :

$$V - v = \frac{K r^{\frac{3}{2}} \sqrt{i}}{R}$$

dans laquelle..... {
V exprime la vitesse au centre;
v, la vitesse d'un filet fluide quelconque;
r, la distance de ce filet fluide au centre;
i, la pente.

J'aurais dû dire plus tôt que la symétrie la plus complète a

toujours été observée dans les vitesses des filets situés à pareille distance du centre.

Il est peut-être opportun de faire remarquer que cette équation toute expérimentale,

$$V - v = \frac{K r^{\frac{3}{2}} \sqrt{i}}{R}$$

peut facilement s'interpréter.

Sa différenciation nous donne

$$-\frac{dv}{dr} = \frac{3}{2} K \frac{r^{\frac{1}{2}} \sqrt{i}}{R};$$

élevée au carré, elle devient

$$\left(R \frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{9}{4} K^2 \, ri;$$

Enfin, on obtient, en la multipliant par $2\pi r$,

$$2\pi r \left(R \frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{9}{2} K^2 \pi r^2 i$$

ou

$$\frac{2}{9 K^2} \, 2\pi r \left(R \frac{dv}{dr}\right)^2 = \pi r^2 i.$$

Sous cette forme on reconnaît facilement que l'équation ci-dessus n'est autre que l'équation d'équilibre du tuyau cylindrique liquide, dont le rayon est r.

En effet, ce tuyau est sollicité par la pesanteur, proportionnellement à $\pi r^2 i$, et il résiste à cette action avec une force retardatrice proportionnelle à son contour $2\pi r$, et au carré de sa vitesse relative multiplié par le carré du rayon de tuyau.

On voit donc :

1° Que la résistance due aux actions intérieures est proportionnelle au carré de l'inclinaison de la tangente de la courbe des vitesses;

2° Que dans les tuyaux de divers diamètres, et pour des points de la courbe pris à égales distances du centre, il y a constamment

égalité entre les produits des rayons par les inclinaisons des tangentes de la courbe aux points que l'on considère.

Si maintenant nous comparons l'équation différentielle ci-dessus, à celle obtenue dans le chapitre I:

$$2\pi r f\left(-\frac{dv}{dr}\right) = \pi r^2 i$$

dans laquelle la fonction f était inconnue, et qui d'ailleurs laissait ignorée l'influence du rayon du tuyau sur la courbe des vitesses, il en résultera que:

$$f\left(-\frac{dv}{dr}\right)$$

a pour valeur déduite de l'expérience:

$$\frac{2}{9K^2}\left(R\frac{dv}{dr}\right)^2.$$

Cette conclusion est en désaccord avec l'opinion émise par plusieurs hydrauliciens éminents qui, se laissant guider seulement par des considérations théoriques, ont posé l'équation

$$-\varepsilon\frac{dv}{dr} = \frac{ri}{2}$$

qui revient à

$$2\pi r\varepsilon \times -\frac{dv}{dr} = \pi r^2 i$$

au lieu de la précédente,

$$2\pi r\varepsilon\left(R\frac{dv}{dr}\right)^2 = \pi r^2 i$$

je représente par ε la constante $\frac{2}{9K^2}$.

L'opinion de ces savants était pour moi d'un grand poids, et je ne me suis hasardé à m'en écarter qu'en présence des résultats concordants et multipliés que m'ont fournis des expériences faites avec tout le soin possible.

Du reste, j'aurai encore occasion de chercher à justifier mon équation lorsque j'aurai donné le détail des expériences qui m'ont servi à la déterminer.

Quant à l'interprétation de la constante $\frac{2}{9\,K'}$ ou ε, je ferai remarquer que, dans un tuyau de rayon égal à l'unité, et pour le point de la courbe où $\frac{dv}{dr} = 1$ (c'est-à-dire correspondant au cylindre liquide qui, dans l'unité de temps, a parcouru une distance relative dv égale à l'épaisseur infiniment petite des anneaux cylindriques, *d'épaisseur égale*, dans lesquels le cylindre liquide total a été décomposé), je ferai remarquer, dis-je, que l'équation ci-dessus se réduit dans cette hypothèse à

$$2\pi r \varepsilon = \pi r^2 i$$

d'où l'on voit que ε représente précisément la résistance due aux actions intérieures, par mètre carré, pour le déplacement $dv = dr$, dans un tuyau dont le rayon est égal à l'unité.

Si l'on fait $R\frac{dv}{dr} = 1$, on tombe sur le même résultat pour la valeur de ε, bien que le déplacement ait alors pour expression $\frac{dr}{R}$.

Ce serait à la physique à donner une explication de ce résultat curieux qui tendrait à prouver que, dans deux tuyaux de rayons différents, les vitesses relatives de deux anneaux pris à la même distance r sont en raison inverse des rayons de ces tuyaux; c'est-à-dire que ces vitesses relatives dépendraient des dimensions absolues de la section, ou de la distance des anneaux aux parois.

L'hypothèse du mouvement graduel et régulier des filets contigus ne pouvait faire pressentir ce résultat; alors l'expression $\frac{dv}{dr}$ semblait devoir être indépendante du rayon du tuyau. Mais cette hypothèse est-elle plus conforme aux lois naturelles que celle du parallélisme des tranches? Rend-elle compte de tous les mouvements observés dans les courants, mouvements qui paraissent dépendre de la section absolue, et doivent influer sur la grandeur des actions intérieures? Explique-t-elle la variation périodique des vitesses des filets fluides telle que nous l'avons observée, M. Baumgarten et moi, au moyen du tube jaugeur décrit dans les

Fontaines publiques de Dijon[1] ? Laisse-t-elle entrevoir la cause des variations de hauteur des jets d'eau[2] et des oscillations manométriques, *oscillations d'autant plus fortes que les diamètres des conduites sont plus considérables ?*

A-t-on égard d'ailleurs dans cette hypothèse aux mouvements giratoires et oscillatoires que doivent prendre les éléments des filets prétendus linéaires; mouvements qu'il est bien difficile de révoquer en doute en présence de l'extrême mobilité des molécules fluides, de la différence de vitesse des filets contigus et de la cohésion qui les unit? Si j'ajoute à ces difficultés que cette même hypothèse, dans laquelle on laisse la section du tuyau sans influence sur les actions intérieures, conduit, comme on le verra pour les vitesses maximum et moyenne, à des expressions désavouées par l'expérience, il faudra bien conclure, malgré l'autorité des noms qui s'attachent à cette hypothèse, qu'elle est en désaccord avec les faits, et qu'elle devrait être modifiée[3].

Sans doute, je ne saurais maintenant donner la raison philosophique de l'expression révélée par mes expériences, mais il me suffisait, je crois, d'établir ici que l'hypothèse précitée était

[1] Les phénomènes hydrauliques qui paraissent devoir être assujettis complétement à la loi de *continuité* sont soumis à des variations qu'il est bien difficile de s'expliquer.

M. l'ingénieur Bazin, dans des expériences relatives au débit des vannes d'écluse, a remarqué le fait suivant :

Il vidait lentement un bassin de deux hectares de superficie (le port de Tonnerre) : l'abaissement aurait dû s'opérer, dans les idées reçues, par degrés insensibles. Il a observé au contraire que l'abaissement à l'extrémité amont (opposée à la vanne qui était levée) s'opérait par saccades, d'une manière discontinue, par soubresauts de 3 à 4 millimètres, de manière à faire varier tout à coup de 1 à 2 cent-millièmes la pente du bassin, qui était presque nulle.

L'écoulement du sable très-fin et très-sec présente un phénomène analogue; j'ai cru le remarquer du moins.

M. Bazin doit renouveler ces expériences de manière à en tirer, s'il est possible, quelque conclusion sur la cohésion de l'eau.

[2] Voir l'ouvrage sur les fontaines de Dijon, où j'ai donné les rapports existant entre les hauteurs minimum, moyenne et maximum du jet de la porte Saint-Pierre.

[3] J'entrerai à la fin de ce chapitre dans des détails plus explicites à ce sujet.

ébranlée par trop de faits bien constatés pour qu'elle pût être victorieusement opposée aux résultats que j'ai déduits d'expériences aussi exactes que possible.

La constante ε sera donc, dans un tuyau de rayon égal à l'unité, la résistance due aux actions intérieures, par mètre carré, pour un déplacement relatif du cylindre liquide, égal à l'épaisseur infiniment petite, *dr*, de la couche enveloppe. Cette valeur de ε est égale à $1^k,74$, comme nous le verrons plus tard.

Reprenons l'équation,

$$V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i}.$$

Pour obtenir la vitesse à la paroi, il suffira de faire $r = R$ et l'on aura, en appelant w cette vitesse:

$$V - w = K \sqrt{R} \sqrt{i}$$

d'où

$$V - v = \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R^{\frac{3}{2}}} (V - w)$$

d'où,

$$v = V - \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R^{\frac{3}{2}}} (V - w)$$

Pour obtenir la vitesse moyenne, il suffira de poser

$$\pi R^2 u = \int_0^R \left[V - \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R^{\frac{3}{2}}} (V - w) \right] 2\, \pi r dr$$

d'où,

$$u = V - \frac{4}{7} (V - w)$$

$$u = \frac{3V + 4w}{7},$$

c'est-à-dire que la vitesse moyenne est égale à trois fois la vitesse au centre, plus quatre fois la vitesse à la paroi, le tout divisé par 7.

Quant à la distance à laquelle cette vitesse est *placée* par rapport au centre du tuyau, il suffira, pour la trouver, de remplacer dans l'équation

$$V - v = \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R^{\frac{3}{2}}}(V - w)$$

$V - v$ par

$$V - u = \frac{4}{7}(V - w)$$

et l'on aura

$$\frac{4}{7} = \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3}{2}},$$

d'où, pour la valeur du rayon correspondant à la vitesse moyenne,

$$r = \left(\frac{4}{7}\right)^{\frac{2}{3}} R = 0{,}689\ R.$$

Je me bornerai, quant à présent, à poser les relations suivantes, résultant de la combinaison des équations qui précèdent :

$$V - w = K\sqrt{Ri},$$
$$V - u = \frac{4}{7} K \sqrt{Ri},$$
$$u - w = \frac{3}{7} K \sqrt{Ri}.$$

Il existe un moyen géométrique très-simple de construire la courbe des vitesses.

Nous avons en effet :

1° L'équation différentielle

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{3}{2} K \frac{r^{\frac{1}{2}}}{R} \sqrt{i}.$$

2° L'équation de la courbe

$$V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i}.$$

Divisant l'une par l'autre, on a

$$\frac{\frac{dv}{dr}}{V - v} = -\frac{3}{2}\frac{1}{r},$$

d'où, pour l'expression générale de l'inclinaison des tangentes à la courbe,

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{3}{2}\frac{V-v}{r}.$$

On aura d'ailleurs, pour la valeur de l'inclinaison de la tangente de la courbe à la paroi :

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{3}{2}\frac{V-w}{R},$$

et pour celle de la tangente correspondant à la vitesse moyenne,

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{3}{2}\frac{V-u}{0{,}689\,R}.$$

Supposons maintenant que le tuyau, dans la section que l'on considère, soit partagé en une série de tranches rapprochées, équidistantes et parallèles à l'axe (pl. XI) *m*, *m'*, *m''*, etc.

Supposons de plus que $V - w = ab$, si l'on porte $\frac{1}{2}$ *ab* en *aa'* et qu'on joigne *a'c*, on aura la tangente au point où la courbe rencontre la paroi.

Abaissons maintenant une perpendiculaire *c'b'*, portons en *aa''* $\frac{1}{2}$ *ab'* et joignons *a'' c'*, etc. la courbe tangente à toutes ces obliques sera précisément la courbe cherchée.

On obtient, au reste, une approximation suffisante du tracé de la courbe en traçant ses tangentes :

1° Au point où elle rencontre la paroi;

2° A son intersection avec le filet de la vitesse moyenne;

3° A son intersection avec le filet central : en ce dernier point la tangente est une perpendiculaire à l'axe du tuyau.

Je passe maintenant à la description des expériences.

EXPÉRIENCES.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL EMPLOYÉ POUR LA MESURE DES VITESSES.

C'est près du premier manomètre qu'était établi l'instrument dont on s'est servi pour connaître la vitesse des filets fluides aux

différents points du diamètre. Des expériences ont été faites sur les conduites en fonte de

$0^m,188$, $0^m,2432$, $0^m,2447$, $0^m,297$ et $0^m,50$.

Le tuyau $0^m,2432$ était recouvert de dépôts, le tuyau $0^m,2447$ n'était que le précédent nettoyé.

L'appareil (pl. IV, fig. 1) se composait d'un tube creux AB en cuivre, de $0^m,005$ de diamètre, au milieu duquel était soudé un tube C de même diamètre, percé à l'extrémité d'un trou de 1 à 2 millimètres de diamètre. En D avait été ajustée une tringle en fer dans une position parallèle au tube C, afin qu'on pût toujours placer ce tube parallèlement à l'axe de la conduite. La tige AB traversait deux *stuffing-box* en cuivre adaptés au-dessus et au-dessous du tuyau, et pouvait se mouvoir de manière à faire monter ou baisser le point C pour le placer au centre, au tiers, aux deux tiers du rayon, etc. Pour obtenir ces différentes positions, on descendait le point C en E', et l'on mesurait la distance JD; on remontait C en E, et l'on mesurait de nouveau la distance JD; la différence entre les deux quantités trouvées donnait le diamètre E'E. En divisant ce diamètre par 6, on obtenait un quotient qu'il suffisait d'ajouter une fois, deux fois, etc. à la première distance, pour savoir à quelle hauteur il fallait placer la tringle D au-dessus du point J pour que le tube C prît l'une des positions indiquées ci-dessus. L'extrémité A du tube en cuivre était seulement fermée par une cheville mobile, afin que l'on eût la possibilité de permettre à l'air de s'échapper, et qu'on fût en mesure de vérifier à chaque instant si l'appareil fonctionnait bien, si le trou d'introduction C n'était pas bouché par des corps légers entraînés par l'eau, ce qui arrivait souvent. Pour que le point C pût bien affleurer la paroi, un petit vide avait été pratiqué à la partie inférieure des *stuffing-box*, en E et E'. Au point B était un robinet d'arrêt; de B en F (pl. IV, fig. 2, 3 et 4) une conduite en plomb de $0^m,01$ de diamètre, et assez flexible pour permettre de faire monter et descendre l'appareil, menait l'eau dans un tube en verre FG de $0^m,03$ environ de diamètre placé sur une échelle graduée,

Dans les expériences sur les conduites de $0^m,50$ et $0^m,188$, le premier manomètre n'était pas placé au même point que l'appareil destiné à mesurer les vitesses, l'un était à $0^m,989$, l'autre à 2 mètres en amont. Cette circonstance obligeait de faire des calculs pour obtenir la charge dans le plan normal à l'appareil. Pour éviter cet inconvénient, on a établi le premier manomètre en R pour les expériences sur les autres conduites. La charge en R était dirigée vers les manomètres à eau précédemment décrits, au moyen de la conduite RIH sur laquelle était branchée la conduite IF', destinée à faire connaître cette même charge dans le tube F'G'. La hauteur de l'eau dans le tube F'G' donnait la pression au point R; le tube FG, la pression, plus la hauteur due à la vitesse. La différence entre les deux nombres accusés exprimait donc la hauteur due à la vitesse. En F et F' étaient ménagés des robinets de décharge pour vider au besoin ou purger d'air les deux manomètres.

C'est au moyen de cet appareil que des expériences ont été faites sur les tuyaux des diamètres suivants :

$0^m,188$	30 expériences.
0 ,2432..............	25
0 ,2447..............	20
0 ,297	20
0 ,50	13
TOTAL....	108

Le tableau synoptique ci-après donne le résultat de ces expériences.

La première colonne indique la charge par mètre sous laquelle on opérait;

La deuxième, la vitesse moyenne obtenue;

La troisième, la distance du centre du tuyau au point où était placé l'orifice du tube de Pitot;

La quatrième et la cinquième donnent les hauteurs au-dessus du zéro de l'échelle du tube de Pitot et du piézomètre;

La sixième et la septième, la hauteur due à la vitesse, et la vitesse correspondante;

Enfin, la huitième, l'excès de la vitesse au centre sur les vitesses des filets supérieurs et inférieurs.

PENTES. (1)	VITESSES MOYENNES. (2)	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux points où était placé le tube de Pitot. (3)		HAUTEURS AU-DESSUS DU ZÉRO du tube de Pitot. (4)	HAUTEURS AU-DESSUS DU ZÉRO du manomètre. (5)	EXCÈS de LA HAUTEUR du tube de Pitot sur le manomètre. (6)	VITESSES correspondant à ces hauteurs ou $V=\sqrt{2gh}$. (7)	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience. (8)
CONDUITE DE 0m,188 DE DIAMÈTRE.								
mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
		au-dessus du centre.	0,0637	0,100		0,0334	0,810	
								0,134
			0,0325	0,108		0,0414	0,901	
								0,043
0,00368	0,758	au centre....	0,0000	0,112	0,0666	0,0454	0,944	
								0,043
		au-dessous du centre.	0,0325	0,108		0,0414	0,901	
								0,134
			0,0637	0,100		0,0334	0,810	
		au-dessus du centre.	0,0637	0,180		0,0761	1,223	
								0,186
			0,0325	0,196		0,0921	1,345	
								0,064
0,00805	1,128	au centre....	0,0000	0,205	0,1030	0,1011	1,409	
								0,064
		au-dessous du centre.	0,0325	0,196		0,0921	1,345	
								0,186
			0,0637	0,180		0,0761	1,223	
		au-dessus du centre.	0,0637	0,265		0,1218	1,546	
								0,263
			0,0325	0,296		0,1528	1,732	
								0,077
0,01340	1,488	au centre....	0,0000	0,310	0,1432	0,1668	1,809	
								0,077
		au-dessous du centre.	0,0325	0,296		0,1528	1,732	
								0,263
			0,0637	0,265		0,1218	1,546	
		au-dessus du centre.	0,0637	0,415		0,2100	2,030	
								0,335
			0,0325	0,464		0,2590	2,255	
								0,110
0,02250	1,933	au centre....	0,0000	0,490	0,2050	0,2850	2,365	
								0,110
		au-dessous du centre.	0,0325	0,464		0,2590	2,255	
								0,369
			0,0637	0,408		0,2030	1,996	

PENTES.	VITESSES MOYENNES.	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux points où était placé le tube de Pitot.		HAUTEURS AU-DESSUS DE ZÉRO du tube de Pitot.	HAUTEURS AU-DESSUS DE ZÉRO du manomètre.	EXCÈS de la hauteur du tube de Pitot sur le manomètre.	VITESSES correspondant à ces hauteurs ou $V = \sqrt{2gh}$.	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.
(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
CONDUITE DE 0m,188 DE DIAMÈTRE. (Suite.)								
			mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	mèt.
		au-dessus du centre.	0,0637	0,655		0,3432	2,595	
								0,420
			0,0325	0,737		0,4252	2,888	
								0,127
mèt. 0,03810	mèt. 2,306	au centre....	0,0000	0,775	mèt. 0,3118	0,4632	3,015	
								0,127
		au-dessous du centre.	0,0325	0,737		0,4252	2,888	
								0,420
			0,0637	0,655		0,3432	2,595	
		au-dessus du centre.	0,0637	1,720		1,0100	4,451	
								0,761
			0,0325	1,985		1,2750	5,001	
								0,211
0,10960	4,323	au centre....	0,0000	2,095	0,7100	1,3850	5,212	
								0,211
		au-dessous du centre.	0,0325	1,985		1,2750	5,001	
								0,761
			0,0637	1,720		1,0100	4,451	
CONDUITE DE 0m,2432 DE DIAMÈTRE.								
		au-dessus du centre.	0,088	0,076		0,010	0,443	
								0,116
			0,044	0,080		0,014	0,524	
								0,036
0,00202	0,452	au centre....	0,000	0,082	0,066	0,016	0,560	
								0,036
		au-dessous du centre.	0,044	0,080		0,014	0,524	
								0,140
			0,088	0,075		0,009	0,420	
		au-dessus du centre.	0,088	0,117		0,022	0,657	
								0,172
			0,044	0,125		0,030	0,767	
								0,062
0,00473	0,707	au centre....	0,000	0,130	0,095	0,035	0,829	
								0,062
		au-dessous du centre.	0,044	0,125		0,030	0,767	
								0,172
			0,088	0,117		0,022	0,657	
		au-dessus du centre.	0,088	0,335		0,117	1,515	
								0,401
			0,044	0,380		0,162	1,783	
								0,133
0,02290	1,547	au centre....	0,000	0,405	0,218	0,187	1,910	
								0,145
		au-dessous du centre.	0,044	0,378		0,160	1,771	
								0,338
			0,088	0,345		0,127	1,578	

PENTES.	VITESSES MOYENNES.	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux points où était placé le tube de Pitot.		HAUTEURS AU-DESSUS DE ZÉRO du tube de Pitot.	HAUTEURS AU-DESSUS DE ZÉRO du manomètre.	EXCÈS de la hauteur du tube de Pitot sur le manomètre.	VITESSES correspondant à ces hauteurs ou $V = \sqrt{2gh}$.	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.
(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
CONDUITE DE 0m.2432 DE DIAMÈTRE. (Suite.)								
mét.	mét.		mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.
		au-dessus du centre.	0,088	0,430		0,162	1,783	0,506
			0,044	0,500		0,232	2,133	0,156
0,03200	1,833	au centre....	0,000	0,535	0,268	0,267	2,289	0,156
		au-dessous du centre.	0,044	0,500		0,232	2.133	0,442
			0,088	0,442		0,174	1,847	
		au-dessus du centre.	0,088	1,515		0,745	3,823	0,937
			0,044	1,770		1,000	4,430	0,330
0,13981	3,833	au centre....	0,000	1,925	0,770	1,155	4,760	0,350
		au-dessous du centre.	0,044	1,760		0,990	4,410	0,770
			0,088	1,580		0,810	3,990	
CONDUITE DE 0m.2447 DE DIAMÈTRE.								
		au-dessus du centre.	0,088	0,090		0,017	0,578	0,108
			0,044	0,095		0,022	0,655	0,031
0,00165	0,537	au centre....	0,000	0,097	0,073	0,024	0,686	0,031
		au-dessous du centre.	0,044	0,095		0,022	0,655	0,108
			0,088	0,090		0,017	0,578	
		au-dessus du centre.	0,088	0,164		0,040	0,886	0,180
			0,044	0,176		0,052	1,010	0,056
0,00498	0,949	au centre....	0,000	0,184	0,124	0,058	1,066	0,056
		au-dessous du centre.	0,044	0,176		0,052	1,010	0,147
			0,088	0,167		0,043	0,919	
		au-dessus du centre.	0,088	0,445		0,175	1,853	0,348
			0,044	0,490		0,220	2.078	0,123
0,02035	1,904	au centre....	0,000	0,517	0,270	0,247	2,201	0,147
		au-dessous du centre.	0,044	0,485		0,215	2,054	0,348
			0,088	0,445		0,175	1,853	

PENTES. (1)	VITESSES MOYENNES. (2)	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux points où était placé le tube de Pitot. (3)		HAUTEURS AU-DESSUS DU ZÉRO du tube de Pitot. (4)	HAUTEURS AU-DESSUS DU ZÉRO du manomètre. (5)	EXCÈS DE LA HAUTEUR du tube de Pitot sur le manomètre. (6)	VITESSES correspondant à ces hauteurs ou $V = \sqrt{2gh}$. (7)	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience. (8)
CONDUITE DE 0m,2447 DE DIAMÈTRE. (Suite.)								
			mét.	mét.		mét.	mét.	mét.
		au-dessus du centre.	0,088	1,930		0,970	4,362	0,783
			0,044	2,170		1,210	4,872	0,273
mét. 0,11345	mét. 4,497	au centre....	0,000	2,310	mét. 0,960	1,350	5,145	0,303
		au-dessous du centre.	0,044	2,155		1,195	4,842	0,752
			0,088	1,945		0,985	4,393	
CONDUITE DE 0m,297 DE DIAMÈTRE.								
		au-dessus du centre.	0,102	0,064		0,006	0,343	0,077
			0,052	0,066		0,008	0,396	0,024
0,00070	0,355	au centre....	0,000	0,067	0,058	0,009	0,420	0,024
		au-dessous du centre.	0,052	0,066		0,008	0,396	0,077
			0,102	0,064		0,006	0,343	
		au-dessus du centre.	0,102	0,248		0,088	1,314	0,201
			0,052	0,267		0,107	1,449	0,066
0,00517	1,236	au centre....	0,000	0,277	0,160	0,117	1,515	0,059
		au-dessous du centre.	0,052	0,268		0,108	1,456	0,186
			0,102	0,250		0,090	1,329	
		au-dessus du centre.	0,102	0,370		0,160	1,772	0,282
			0,052	0,405		0,195	1,956	0,098
0,01125	1,665	au centre....	0,000	0,425	0,210	0,215	2,054	0,098
		au-dessous du centre.	0,052	0,405		0,195	1,956	0,282
			0,102	0,370		0,160	1,772	
		au-dessus du centre.	0,102	0,620		0,310	2,466	0,370
			0,052	0,685		0,375	2,712	0,124
0,02251	2,365	au centre....	0,000	0,720	0,310	0,410	2,836	0,124
		au-dessous du centre.	0,052	0,685		0,375	2,712	0,350
			0,102	0,625		0,315	2,486	

PENTES. (1)	VITESSES MOYENNES. (2)	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux points où était placé le tube de Pitot. (3)	HAUTEURS AU-DESSUS DU ZÉRO du tube de Pitot. (4)	HAUTEURS AU-DESSUS DU ZÉRO du manomètre. (5)	EXCÈS de LA HAUTEUR du tube de Pitot sur le manomètre. (6)	VITESSES correspondant à ces hauteurs ou $V = \sqrt{2gh}$. (7)	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience. (8)
CONDUITE DE 0m,50 DE DIAMÈTRE.							
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
		au-dessus du centre. 0,17	0,255		0,0116	0,4770	
							0,093
		au-dessus du centre. 0,09	0,258		0,0146	0,5352	
							0,036
0,00000	0,4752	au centre.... 0,00	0,260	0,2434	0,0166	0,5707	
		au-dessous du centre. 0,17	0,536		0,04225	0,910	
							0,140
		au-dessous du centre. 0,09	0,544		0,05025	0,993	
							0,057
0,00125	0,7951	au centre.... 0,00	0,550	0,49375	0,05625	1,050	
							0,057
		au-dessous du centre. 0,09	0,544		0,05025	0,993	
							0,140
		au-dessous du centre. 0,17	0,536		0,04225	0,910	
		au-dessus du centre. 0,17	0,822		0,0646	1,1257	
							0,185
		au-dessus du centre. 0,09	0,836		0,0786	1,2417	
							0,069
0,00260	1,1197	au centre.... 0,00	0,845	0,7574	0,0876	1,3109	
							0,077
		au-dessous du centre. 0,09	0,835		0,0776	1,2338	
							0,202
		au-dessous du centre. 0,17	0,820		0,0626	1,1081	

En présence de ce tableau une première réflexion se présente : la 7e colonne offre-t-elle bien les vitesses réelles, et, dans le cas contraire, comment opérer les corrections nécessaires?

Or, quel que soit le coefficient de rectification à adopter, il parait certain qu'il doit être à peu près le même pour chaque tuyau; l'application de ce coefficient ne détruira donc pas, si elle existe, l'égalité des rapports :

$$\frac{v - v'}{\sqrt{i}},\quad \frac{v_1 - v'_1}{\sqrt{i'}},\quad \frac{v_2 - v'_2}{\sqrt{i''}},\quad \frac{v_3 - v'_3}{\sqrt{i'''}}\ldots\ldots$$

$$\frac{v - v''}{\sqrt{i}},\quad \frac{v_1 - v''_1}{\sqrt{i'}},\quad \frac{v_2 - v''_2}{\sqrt{i''}},\quad \frac{v_3 - v''_3}{\sqrt{i'''}}\ldots\ldots$$

et

$$\frac{V-v'}{r'^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{V-v''}{r''^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{V-v'''}{r'''^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{V-v''''}{r''''^{\frac{3}{2}}} \ldots\ldots$$

Nous pouvons d'abord vérifier si ces relations sont vraies.

Or, nous avons fait ce calcul, que nous ne reproduisons pas ici parce que nous l'effectuerons plus tard pour établir définitivement l'équation cherchée.

De ces calculs préliminaires nous avons conclu l'existence de l'équation :

$$V - v = K_1 r^{\frac{3}{2}} \sqrt{i}$$

(K_1 étant une constante pour un même tuyau). Elle donne

$$r = 0{,}689 \text{ R}$$

pour la distance à laquelle le filet de la vitesse moyenne est situé de l'axe du tuyau de rayon R.

Si donc nous connaissions, fournie par l'instrument, la vitesse du filet situé à cette distance du centre, il est évident qu'en la comparant à la vitesse moyenne expérimentale de l'eau dans le tuyau, nous aurions le coefficient de rectification à adopter.

Or, dans les tuyaux soumis aux expériences, c'est-à-dire dans les tuyaux de

$0^m{,}188$, $0^m{,}2432$, $0^m{,}2447$, $0^m{,}297$, $0^m{,}50$,

des expériences pour déterminer les vitesses ont été faites à des distances du centre égales à

(1) $0^m{,}0637$, $0^m{,}088$, $0^m{,}088$, $0^m{,}102$, $0^m{,}17$,

tandis qu'en prenant les 0,689 des rayons, on aurait obtenu

(2) $0^m{,}0648$, $0^m{,}0838$, $0^m{,}0843$, $0^m{,}102$, $0^m{,}172$.

On voit d'abord qu'il ne peut y avoir qu'une différence très-faible entre les vitesses correspondant aux distances (1) et celles correspondant aux distances (2) qui se rapportent aux filets animés de la vitesse moyenne.

On pourrait s'abstenir de calculer cette différence : nous la déterminerons pourtant, afin de donner plus de certitude aux résultats que nous cherchons.

Nous ferons donc une espèce de règle de fausse position et nous admettrons d'abord que les vitesses trouvées aux distances

$$0^m,0637, \quad 0^m,088, \quad 0^m,088, \quad 0^m,102, \quad 0^m,17$$

soient les vitesses correspondant aux filets moyens.

En conséquence, nous adopterons pour coefficient de correction le rapport existant entre les vitesses moyennes expérimentales et celles précitées, puis nous appliquerons ce coefficient à toutes les vitesses.

Nous aurons ainsi les éléments nécessaires pour déterminer, dans chaque tuyau, la constante de l'équation de la courbe $V - v = K_0 r^{\frac{1}{2}} \sqrt{i}$.

Cette détermination étant effectuée par le procédé que nous décrirons plus tard à l'occasion des calculs définitifs, nous cherchons, au moyen des équations des courbes provisoirement établies, quelles vitesses correspondent aux distances accouplées:

$$\begin{Bmatrix} 0^m,0648 \\ 0\ \ ,0637 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0^m,0838 \\ 0\ \ ,088 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0^m,0843 \\ 0\ \ ,088 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0^m,102 \\ 0\ \ ,102 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0^m,172 \\ 0\ \ ,17 \end{Bmatrix}$$

dans les tuyaux de $0^m,188$, $0^m,2432$, $0^m,2447$, $0^m,297$, $0^m,50$.

Nous prendrons les différences de ces vitesses, lesquelles seront évidemment presque identiques à celles que l'on obtiendrait en opérant sur les courbes définitives.

Il ne nous restera plus qu'à ajouter, avec leurs signes, ces différences aux vitesses trouvées aux distances expérimentales (1), lesquelles sont, comme on vient de le voir,

$$0^m,0637, \quad 0^m,088, \quad 0^m,088, \quad 0^m,102, \quad 0^m,17.$$

Enfin, les rapports entre les résultats des additions précitées et les vitesses moyennes de l'eau dans les tuyaux donneront les coefficients de rectification cherchés.

Les résultats de ces calculs sont donnés dans le tableau suivant.

DIAMÈTRES. (1)	VITESSES MOYENNES. (2)	VITESSES DÉDUITES de l'appareil. (3)	VALEURS, DANS LES COURBES PROVISOIRES, des V — v correspondant aux distances (1). (4)	aux distances (2). (5)	DIFFÉRENCES[1] entre les chiffres posés dans les colonnes (5) et (4). (6)	COLONNE (6) ajoutée avec son signe à la vitesse de la colonne (3). (7)	RAPPORT entre les colonnes (2) et (7). (8)
	mét.	mét.	mét.	mét.		mét.	
	0,758	0,810	0,123	0,125	— 0,002	0,808	0,938
mét.	1,128	1,223	0,181	0,185	— 0,004	1,219	0,925
0,168	1,488	1,546	0,234	0,239	— 0,005	1,541	0,966
	1,933	2,013	0,303	0,310	— 0,007	2,006	0,964
	2,506	2,595	0,394	0,403	— 0,009	2,586	0,969
	4,323	4,451	0,669	0,685	— 0,016	4,435	0,975
	0,452	0,432	0,111	0,103	+ 0,008	0,440	1,027
	0,707	0,657	0,170	0,158	+ 0,012	0,669	1,057
0,2432	1,547	1,547	0,374	0,348	+ 0,026	1,573	0,983
	1,833	1,815	0,442	0,411	+ 0,031	1,846	0,993
	3,833	3,907	0,925	0,859	+ 0,066	3,973	0,965
	0,537	0,578	0,095	0,088	+ 0,007	0,585	0,918
	0,949	0,903	0,166	0,152	+ 0,014	0,917	1,035
0,2447	1,904	1,853	0,335	0,308	+ 0,027	1,880	1,013
	4,497	4,378	0,791	0,728	+ 0,063	4,441	1,013
	0,355	0,343	0,065	0,065	+ 0,000	0,343	1,035
	1,236	1,322	0,192	0,193	+ 0,000	1,322	0,936
0,297	1,665	1,772	0,260	0,261	+ 0,000	1,772	0,940
	2,365	2,476	0,368	0,368	+ 0,000	2,476	0,955
	0,4752	0,477	0,094	0,096	— 0,002	0,475	1,000
0,50	0,7951	0,910	0,136	0,138	— 0,002	0,908	0,875
	1,1197	1,117	0,196	0,200	— 0,004	1,113	1,006

Au moyen des coefficients de rectification de la colonne (8) du tableau ci-dessus, il devient facile d'obtenir les vitesses réelles des filets fluides aux points où l'instrument a été placé, et par suite les différences de vitesse du filet central et des filets supérieurs et inférieurs.

Les tableaux ci-après présentent les résultats de ces recherches.

[1] Ces différences sont évidemment égales à celles existant entre les vitesses des filets placés aux distances (2) et (1), distances précédemment indiquées.

VITESSES MOYENNES d'après l'expérience.	DISTANCES DU CENTRE aux points où était placé le tube de Pitot.		VITESSES correspondant aux points où était placé l'appareil de Pitot.	COEFFICIENT de correction à appliquer.	VITESSES RECTIFIÉES.	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.	OBSERVATIONS.
CONDUITE DE 0m,188 DE DIAMÈTRE.							
		mét.	mét.		mét.	mét.	
	au-dessus du centre.	*0,0648*	*0,808*		*0,758*		On a écrit en *chiffres italiques* les distances et les vitesses correspondant aux filets qui doivent être sommés de la vitesse moyenne, suivant la formule.
						0,127	
		0,0637	0,810		0,760		
						0,125	
		0,0325	0,901		0,845		
						0,040	
mét. 0,758	au centre....	0,0000	0,944	mét. 0,938	0,885		
						0,040	
	au-dessous du centre.	0,0325	0,901		0,845		
						0,125	
		0,0637	0,810		0,760		
						0,127	
		0,0648	*0,808*		*0,758*		
	au-dessus du centre.	*0,0648*	*1,219*		*1,128*		
						0,175	
		0,0637	1,223		1,131		
						0,172	
		0,0325	1,345		1,244		
						0,059	
1,128	au centre....	0,0000	1,409	0,925	1,303		
						0,059	
	au-dessous du centre.	0,0325	1,345		1,244		
						0,172	
		0,0637	1,223		1,131		
						0,175	
		0,0648	*1,219*		*1,128*		
	au-dessus du centre.	*0,0648*	*1,541*		*1,488*		
						0,259	
		0,0637	1,546		1,493		
						0,254	
		0,0325	1,732		1,673		
						0,074	
1,488	au centre....	0,0000	1,809	0,966	1,747		
						0,074	
	au-dessous du centre.	0,0325	1,732		1,673		
						0,254	
		0,0637	1,546		1,493		
						0,259	
		0,0648	*1,541*		*1,488*		
	au-dessus du centre.	*0,0648*	*2,006*		*1,933*		
						0,347	
		0,0637	2,030		1,957		
						0,323	
		0,0325	2,255		2,174		
						0,106	
1,933	au centre....	0,0000	2,365	0,964	2,280		
						0,106	
	au-dessous du centre.	0,0325	2,255		2,174		
						0,356	
		0,0637	1,996		1,924		
						0,347	
		0,0648	2,006		*1,933*		

VITESSES MOYENNES d'après l'expérience.	DISTANCES DU CENTRE aux points où était placé le tube de Pitot.		VITESSES correspondant aux points où était placé l'appareil de Pitot.	COEFFICIENT de correction à appliquer.	VITESSES RECTIFIÉES.	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.	OBSERVATIONS.
CONDUITE DE 0m,188 DE DIAMÈTRE. (Suite.)							
		mét.	mét.		mét.	mét.	
	au-dessus du centre.	0,0648	2,586		2,506	0,416	
		0,0637	2,595		2,515	0,407	
		0,0325	2,888		2,798	0,124	
mét. 2,506	au centre....	0,0000	3,015	mét. 0,969	2,922	0,124	
	au-dessous du centre.	0,0325	2,888		2,798	0,407	
		0,0637	2,595		2,515	0,416	
		0,0648	2,586		2,506		
	au-dessus du centre.	0,0648	4,435		4,323	0,759	
		0,0637	4,451		4,340	0,742	
		0,0325	5,001		4,876	0,206	
4,323	au centre....	0,0000	5,212	0,975	5,082	0,206	
	au-dessous du centre.	0,0325	5,001		4,876	0,742	
		0,0637	4,451		4,340	0,759	
		0,0648	4,435		4,323		
CONDUITE DE 0m,2432 DE DIAMÈTRE.							
	au-dessus du centre.	0,088	0,444		0,456	0,119	
		0,0838	0,440		0,452	0,123	
		0,044	0,524		0,538	0,037	
0,452	au centre....	0,000	0,560	1,027	0,575	0,037	
	au-dessous du centre.	0,044	0,524		0,538	0,123	
		0,0838	0,440		0,452	0,144	
		0,088	0,420		0,431		
	au-dessus du centre.	0,088	0,657		0,694	0,182	
		0,0838	0,669		0,707	0,169	
		0,044	0,767		0,811	0,065	
0,707	au centre....	0,000	0,829	1,057	0,876	0,065	
	au-dessous du centre.	0,044	0,767		0,811	0,169	
		0,0838	0,669		0,707	0,182	
		0,088	0,657		0,694		

VITESSES moyennes d'après l'expérience.	DISTANCES du centre aux points où était placé le tube de Pitot.	VITESSES correspondant aux points où était placé l'appareil de Pitot.	COEFFICIENT de correction à appliquer.	VITESSES rectifiées.	EXCÈS de la vitesse au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.	OBSERVATIONS.
	CONDUITE DE 0m,2432 DE DIAMÈTRE. (Suite.)					
	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
	au-dessus du centre. 0,088	1,515		1,489		
					0,394	
	0,0838	*1,573*		*1,547*		
					0,336	
	0,044	1,783		1,753		
					0,130	
mèt. 1,547	au centre.... 0,000	1,916	mèt. 0,983	1,883		
					0,142	
	au-dessous du centre. 0,044	1,771		1,741		
					0,336	
	0,0839	*1,573*		*1,547*		
					0,332	
	0,088	1,578		1,551		
	au-dessus du centre. 0,088	1,783		1,771		
					0,502	
	0,0838	*1,846*		*1,833*		
					0,440	
	0,044	2,133		2,118		
					0,155	
1,833	au centre.... 0,000	2,289	0,993	2,273		
					0,155	
	au-dessous du centre. 0,044	2,133		2,118		
					0,440	
	0,0838	*1,846*		*1,833*		
					0,439	
	0,088	1,847		1,834		
	au-dessus du centre. 0,088	3,823		3,689		
					0,904	
	0,0838	*3,973*		*3,833*		
					0,760	
	0,044	4,430		4,275		
					0,318	
3,833	au centre.... 0,000	4,760	0,965	4,593		
					0,337	
	au-dessous du centre. 0,044	4,410		4,256		
					0,760	
	0,0838	*3,973*		*3,833*		
					0,743	
	0,088	3,990		3,850		
	CONDUITE DE 0m,2447 DE DIAMÈTRE.					
	au-dessus du centre. 0,088	0,578		0,531		
					0,099	
	0,0843	*0,585*		*0,537*		
					0,093	
	0,044	0,655		0,601		
					0,029	
0,537	au centre.... 0,000	0,686	0,918	0,630		
					0,029	
	au-dessous du centre. 0,044	0,655		0,601		
					0,093	
	0,0843	*0,585*		*0,537*		
					0,099	
	0,088	0,578		0,531		

VITESSES moyennes d'après l'expérience.	DISTANCES du centre aux points où était placé le tube de Pitot.		VITESSES correspondant aux points où était placé l'appareil de Pitot.	COEFFICIENT de correction à appliquer.	VITESSES rectifiées.	EXCÈS de la vitesse au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.	OBSERVATIONS.
	CONDUITE DE 0m,2447 DE DIAMÈTRE. (Suite.)						
		mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
	au-dessus du centre.	0,088	0,886		0,917	0,186	
		0,0643	*0,917*		*0,949*	*0,154*	
		0,044	1,010		1,045	0,058	
mèt. 0,949	au centre....	0,000	1,066	mèt. 1,035	1,103	0,058	
	au-dessous du centre.	0,044	1,010		1,045	*0,154*	
		0,0643	*0,917*		*0,949*	0,152	
		0,088	0,919		0,951		
	au-dessus du centre.	0,088	1,853		1,877	0,353	
		0,0643	*1,880*		*1,904*	*0,326*	
		0,044	2,078		2,105	0,125	
1,904	au centre....	0,000	2,201	1,013	2,230	0,149	
	au-dessous du centre.	0,044	2,054		2,081	*0,326*	
		0,0643	*1,880*		*1,904*	0,353	
		0,088	1,853		1,877		
	au-dessus du centre.	0,088	4,362		4,419	0,793	
		0,0643	*4,441*		*4,497*	*0,715*	
		0,044	4,872		4,935	0,277	
4,497	au centre....	0,000	5,145	1,013	5,212	0,307	
	au-dessous du centre.	0,044	4,842		4,905	*0,715*	
		0,0643	*4,441*		*4,497*	0,762	
		0,088	4,393		4,450		
	CONDUITE DE 0m,297 DE DIAMÈTRE.						
	au-dessus du centre.	*0,1023*	*0,343*		*0,355*	*0,080*	
		0,102	0,343		0,355	0,080	
		0,052	0,396		0,410	0,025	
0,355	au centre....	0,000	0,420	1,035	0,435	0,025	
	au-dessous du centre.	0,052	0,396		0,410	0,080	
		0,102	0,343		0,355	*0,080*	
		0,1023	*0,343*		*0,355*		

VITESSES MOYENNES d'après l'expérience.	DISTANCES DU CENTRE aux points où était placé le tube de Pitot.		VITESSES correspondant aux points où était placé l'appareil de Pitot.	COEFFICIENT de correction à appliquer.	VITESSES RECTIFIÉES.	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.	OBSERVATIONS.
CONDUITE DE 0m,297 DE DIAMÈTRE. (Suite.)							
		mét.	mét.		mét.	mét.	
	au-dessus du centre.	*0,1023*	*1,321*		*1,236*	*0,162*	
		0,102	1,314		1,230	0,188	
		0,052	1,449		1,356	0,062	
mét. 1,236	au centre....	0,000	1,515	mét. 0,936	1,418		
	au-dessous du centre.	0,052	1,456		1,363	0,055	
		0,102	1,329		1,244	0,174	
		0,1023	*1,321*		*1,236*	*0,182*	
	au-dessus du centre.	*0,1023*	*1,771*		*1,665*	*0,266*	
		0,102	1,772		1,666	0,265	
		0,052	1,956		1,839	0,092	
1,665	au centre....	0,000	2,054	0,940	1,931		
	au-dessous du centre.	0,052	1,956		1,839	0,092	
		0,102	1,772		1,666	0,265	
		0,1023	*1,771*		*1,665*	*0,266*	
	au-dessus du centre.	*0,1023*	*2,476*		*2,365*	*0,343*	
		0,102	2,466		2,355	0,353	
		0,052	2,712		2,590	0,118	
2,365	au centre....	0,000	2,836	0,955	2,708		
	au-dessous du centre.	0,052	2,712		2,590	0,118	
		0,102	2,486		2,374	0,334	
		0,1023	2,476		*2,365*	*0,343*	
CONDUITE DE 0m,50 DE DIAMÈTRE.							
	au-dessus du centre.	*0,1723*	*0,475*		*0,475*	*0,096*	
		0,17	0,477		0,477	0,094	
0,4752		0,09	0,535	1,000	0,535	0,036	
	au centre ...	0,00	0,571		0,571		

VITESSES MOYENNES d'après l'expérience.	DISTANCES DU CENTRE aux points où était placé le tube de Pitot.		VITESSES correspondant aux points où était placé l'appareil de Pitot.	COEFFICIENT de correction à appliquer.	VITESSES RECTIFIÉES.	EXCÈS DE LA VITESSE au centre sur les vitesses inférieures et supérieures d'après l'expérience.	OBSERVATIONS.
CONDUITE DE 0m,50 DE DIAMÈTRE. (Suite.)							
		mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
	au-dessus du centre.	*0,1723*	*0,908*		*0,795*		
						0,124	
		0,17	0,910		0,796		
						0,123	
		0,09	0,993		0,869		
mèt.				mèt.		0,050	
0,7951	au centre....	0,00	1,050	0,875	0,919		
						0,050	
	au-dessous du centre.	0,09	0,993		0,869		
						0,123	
		0,17	0,910		0,796		
						0,124	
		0,1723	*0,908*		*0,795*		
	au-dessus du centre.	*0,1723*	*1,113*		*1,1197*		
						0,199	
		0,17	1,126		1,133		
						0,186	
		0,09	1,242		1,249		
						0,070	
1,1197	au centre....	0,00	1,311	1,006	1,319		
						0,078	
	au-dessous du centre.	0,09	1,234		1,241		
						0,204	
		0,17	1,108		1,115		
						0,199	
		0,1723	*1,113*		*1,1197*		

Il nous reste maintenant à reconnaître, à l'aide de ces données, si, comme nous l'avons annoncé, les rapports

$$\frac{v - v'}{\sqrt{i}},\quad \frac{v_1 - v'_1}{\sqrt{i'}},\quad \frac{v_2 - v'_2}{\sqrt{i''}},\quad \frac{v_3 - v'_3}{\sqrt{i'''}} \ldots\ldots$$

$$\frac{v - v''}{\sqrt{i}},\quad \frac{v_1 - v''_1}{\sqrt{i'}},\quad \frac{v_2 - v''_2}{\sqrt{i''}},\quad \frac{v_3 - v''_3}{\sqrt{i'''}} \ldots\ldots$$

ainsi que les suivants,

$$\frac{V - v'}{r'^{\frac{1}{2}}},\quad \frac{V - v''}{r''^{\frac{1}{2}}},\quad \frac{V - v'''}{r'''^{\frac{1}{2}}},\quad \frac{V - v''''}{r''''^{\frac{1}{2}}} \ldots\ldots$$

sont constants dans un même tuyau.

Le tableau ci-après donne le calcul de ces rapports.

DIAMÈTRES.	PENTES.	DIFFÉRENCES entre les vitesses au centre et celles prises à		RACINE carrée des pentes.	RAPPORTS entre les colonnes		RAPPORTS entre les colonnes (3) et (4) et les distances	
		r de l'axe[1].	r' de l'axe[1].		(3) et (5).	(4) et (5).	r élevée à la puissance $\frac{3}{2}$.	r' élevée à la puissance $\frac{3}{2}$.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
		mét. 0,0325	mét. 0,0637				mét. 0,0325	mét. 0,0637
	mét.							
	0,00368	0,040	0,125	0,060,633	0,659	2,061	6,827	7,775
	0,00805	0,059	0,172	0,089,72	0,658	1,917	10,070	10,609
mét. 0,188	0,01340	0,074	0,254	0,115,75	0,639	2,194	12,630	15,799
	0,0225	0,106	0,3395	0,15	0,707	2,263	18,092	21,117
	0,0381	0,124	0,407	0,195,19	0,635	2,085	21,164	25,316
	0,1098	0,206	0,742	0,331,36	0,622	2,239	35,160	46,153
		0,044	0,088				0,044	0,088
	0,00202	0,037	0,1315	0,044,94	0,823	2,926	4,009	3,037
	0,00473	0,065	0,182	0,068,77	0,945	2,647	7,042	6,072
0,2432	0,0229	0,136	0,363	0,151,32	0,899	2,399	14,735	13,906
	0,032	0,155	0,4705	0,178,88	0,867	2,630	16,793	18,023
	0,13981	0,3275	0,8235	0,373,91	0,876	2,202	35,482	31,546
		0,044	0,088				0,044	0,088
	0,00165	0,029	0,099	0,040,621	0,714	2,437	3,142	3,792
0,2447	0,00498	0,058	0,169	0,070,569	0,822	2,395	6,284	6,474
	0,02035	0,137	0,353	0,142,653	0,960	2,475	14,843	13,522
	0,11343	0,292	0,7775	0,336,497	0,867	2,309	31,636	29,784
		0,052	0,102				0,052	0,102
	0,0007	0,025	0,080	0,026,46	0,945	3,023	2,108	2,456
0,297	0,00617	0,0585	0,181	0,078,55	0,745	2,304	4,434	5,556
	0,01125	0,092	0,265	0,106,07	0,867	2,498	7,759	8,135
	0,02251	0,118	0,3435	0,150,03	0,787	2,290	9,952	10,545
		0,09	0,17				0,09	0,17
	0,0006	0,036	0,094	0,024,5	1,469	3,837	1,333	1,341
0,50	0,00125	0,050	0,123	0,035,36	1,414	3,479	1,852	1,755
	0,0026	0,074	0,195	0,050,99	1,451	3,824	2,741	2,782

[1] Les valeurs numériques successives de r et de r' sont placées en tête des données relatives à chaque tuyau.

En examinant, pour chaque tuyau, les chiffres des colonnes (6) et (7), on voit que les rapports des différences des vitesses aux racines carrées des pentes peuvent être considérés comme constants.

Les quelques différences qui existent ne peuvent être attribuées qu'à la difficulté d'obtenir plus de précision dans les expériences.

La moindre erreur, en effet, dans l'indication des instruments qui donnent les vitesses entières, doit influer d'une manière très-sensible sur les différences des vitesses, si l'erreur ne porte pas à la fois sur les deux vitesses.

En examinant ensuite pour chaque tuyau les colonnes (8) et (9), et comparant entre eux les chiffres correspondants dans chaque colonne, on voit encore qu'il est permis de les considérer comme égaux.

Le tuyau de 0,188 présente seul des différences un peu notables, différences dont l'explication se trouve dans l'observation précédente.

Il est donc permis de poser pour un même tuyau la formule

$$V - v = K_0 r^{\frac{3}{2}} \sqrt{i}.$$

Or, K_0 pourra évidemment être déterminé par les trois conditions :

$$K_0 = \frac{\Sigma \frac{V - v}{\sqrt{i}}}{n r^{\frac{3}{2}}},$$

$$K_0 = \frac{\Sigma \frac{V - v_0}{\sqrt{i}}}{n r'^{\frac{3}{2}}},$$

$$K_0 = \frac{\Sigma \left(\frac{V - v}{r^{\frac{3}{2}}}\right) + \Sigma \left(\frac{V - v_0}{r'^{\frac{3}{2}}}\right)}{2 \Sigma \sqrt{i}},$$

dans lesquelles $V - v$ et $V - v_0$ représentent les différences de vitesses pour les distances r et r', n le nombre des expériences.

La moyenne de ces trois valeurs donnera pour chaque tuyau la constante cherchée.

DIAMÈTRES.	$K_o = \frac{\Sigma \frac{V-v}{\sqrt{i}}}{n r^{\frac{3}{2}}}$	$K_o = \frac{\Sigma \frac{V-v_o}{\sqrt{i}}}{n r'^{\frac{3}{2}}}$	$K_o = \frac{\Sigma\left(\frac{V-v}{r^{\frac{3}{2}}}\right)+\Sigma\left(\frac{V-v_o}{r'^{\frac{3}{2}}}\right)}{2\Sigma\sqrt{i}}$	VALEURS MOYENNES de K_o.
mèt. 0,188	$K_o = \frac{3,920}{6 \times 0,005,859} = 112,00$	$K_o = \frac{12,759}{6 \times 0,0161} = 131,54$	$K_o = \frac{103,943 + 116,859}{2 \times 0,942,863} = 122,41$	121,98
0,2432	$K_o = \frac{4,410}{5 \times 0,009,23} = 95,87$	$K_o = \frac{12,804}{5 \times 0,0261} = 97,74$	$K_o = \frac{78,061 + 75,483}{2 \times 0,818} = 93,85$	95,82
0,2447	$K_o = \frac{3,363}{4 \times 0,009,23} = 90,89$	$K_o = \frac{9,616}{4 \times 0,0261} = 92,46$	$K_o = \frac{55,905 + 53,572}{2 \times 0,5905} = 92,73$	92,03
0,297	$K_o = \frac{3,344}{5 \times 0,118,807} = 71,15$	$K_o = \frac{10,115}{4 \times 0,032,376} = 77,81$	$K_o = \frac{24,253 + 26,692}{2 \times 0,361} = 70,56$	73,17
0,50	$K_o = \frac{4,334}{3 \times 0,027} = 53,506$	$K_o = \frac{11,140}{3 \times 0,070} = 53,05$	$K_o = \frac{5,926 + 5,875}{2 \times 0,11085} = 53,17$	53,24

On voit donc que pour chaque tuyau K_o devient :

INDICATION DES TUYAUX. — Diamètres.	VALEURS MOYENNES de K_o.	VALEURS de $K_o \times R$ ou K.	OBSERVATIONS
mèt. 0,188	121,98	11,466	
0,2432	95,82	11,652	
0,2447	92,03	11,259	
0,297	73,17	10,866	
0,50	53,24	13,310	
	MOYENNE GÉNÉRALE......	$\frac{58,553}{5} = 11,710$	

On voit de plus par la 3ᵉ colonne que les valeurs de K_o, multipliées par le rayon de chaque tuyau correspondant, donnent des chiffres sensiblement constants.

20

On peut donc poser l'équation

$$V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i}$$

déjà discutée au commencement de ce chapitre.

Mais j'ai cru devoir, conformément à la manière dont j'ai déjà opéré dans les expériences précédentes, déterminer la valeur de la constante K par la méthode des moindres carrés.

Soit l'expression

$$z = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{y},$$

dans laquelle z est égal à la différence des vitesses correspondant aux rayons r, y représente les pentes, et R le rayon du tuyau.

Les données correspondantes de la question seront désignées ainsi qu'il suit :

Différences de vitesse des filets.	Distances de ces filets au centre du tuyau.	Pentes.
z'	r'	y'
z''	r''	
z'''	r'	y''
z^{iv}	r''	
z^{v}	r'	y'''
z^{vi}	r''	
z^{vii}	r'	y^{iv}
z^{viii}	r''	
z^{ix}	r'	y^{v}
z^{x}	r''	

On aura pour le rapport de l'erreur à l'ordonnée

$$\frac{z - K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{y}}{z},$$

d'où pour la condition à remplir

$$d\,\Sigma\left(1-\frac{K}{R}r^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y}}{z}\right)^2=0,$$

d'où

$$\Sigma\left(1-\frac{K}{R}r^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y}}{z}\right)\frac{1}{R}r^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y}}{z}=0,$$

laquelle, décomposée dans ses éléments déduits des données de l'expérience, donne :

$$\left.\begin{array}{l}
\left[\left(1-\frac{K}{R}r'^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'}}{z'}\right)\left(r'^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'}}{z'}\right)\right]+\left[\left(1-\frac{K}{R}r'^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y''}}{z'''}\right)\left(r'^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y''}}{z'''}\right)\right] \\
\qquad +\left[\left(1-\frac{K}{R}r'^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'''}}{z^{v}}\right)\left(r'^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'''}}{z^{v}}\right)\right]+\dots \\
\left[\left(1-\frac{K}{R}r''^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'}}{z''}\right)\left(r''^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'}}{z''}\right)\right]+\left[\left(1-\frac{K}{R}r''^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y''}}{z^{iv}}\right)\left(r''^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y''}}{z^{iv}}\right)\right] \\
\qquad +\left[\left(1-\frac{K}{R}r''^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'''}}{z^{vi}}\right)\left(r''^{\frac{3}{2}}\frac{\sqrt{y'''}}{z^{vi}}\right)\right]+\dots
\end{array}\right\}=0$$

d'où

$$\sqrt{y'}\left(\frac{r'^{\frac{3}{2}}}{z'}+\frac{r''^{\frac{3}{2}}}{z''}\right)+\sqrt{y''}\left(\frac{r'^{\frac{3}{2}}}{z'''}+\frac{r''^{\frac{3}{2}}}{z^{iv}}\right)+\sqrt{y'''}\left(\frac{r'^{\frac{3}{2}}}{z^{v}}+\frac{r''^{\frac{3}{2}}}{z^{vi}}\right)+\dots$$
$$=\frac{K}{R}\left[\left(\frac{r'^{3}}{z'^{2}}+\frac{r''^{3}}{z''^{2}}\right)y'+\left(\frac{r'^{3}}{z'''^{2}}+\frac{r''^{3}}{z^{iv2}}\right)y''+\left(\frac{r'^{3}}{z^{v2}}+\frac{r''^{3}}{z^{vi2}}\right)y'''+\dots\right],$$

d'où, enfin,

$$\frac{K}{R}=\frac{\sqrt{y'}\left(\frac{r'^{\frac{3}{2}}}{z'}+\frac{r''^{\frac{3}{2}}}{z''}\right)+\sqrt{y''}\left(\frac{r'^{\frac{3}{2}}}{z'''}+\frac{r''^{\frac{3}{2}}}{z^{iv}}\right)+\sqrt{y'''}\left(\frac{r'^{\frac{3}{2}}}{z^{v}}+\frac{r''^{\frac{3}{2}}}{z^{vi}}\right)+\dots}{y'\left(\frac{r'^{3}}{z'^{2}}+\frac{r''^{3}}{z''^{2}}\right)+y''\left(\frac{r'^{3}}{z'''^{2}}+\frac{r''^{3}}{z^{iv2}}\right)+y'''\left(\frac{r'^{3}}{z^{v2}}+\frac{r''^{3}}{z^{vi2}}\right)+\dots}$$

Dans les substitutions on mettra à la place des z', z'', z''', etc. les moyennes entre les valeurs trouvées au-dessus et au-dessous du centre.

DIAMETRES.	VALEURS de $\sqrt{y'}\left(\frac{r'^{\frac{3}{2}}}{z'}+\frac{r''^{\frac{3}{2}}}{z''}\right)+\ldots\ldots$	VALEURS de $y'\left(\frac{r'^{3}}{z'^{3}}+\frac{r''^{3}}{z''^{3}}\right)+\ldots\ldots$	VALEURS de K.
mèt. 0,188	0,016,571,734	0,000,137,859,675	11,253
	0,017,264,068	0,000,149,159,620	
	0,016,442,252	0,000,136,800,749	
	0,015,394,709	0,000,119,107,973	
	0,017,003,063	0,000,145,816,663	
	0,016,618,978	0,000,140,079,363	
	0,099,294,824	0,000,828,914,043	
0,2432	0,020,899,539	0,000,219,642,581	11,654
	0,019,560,348	0,000,191,338,142	
	0,020,952,202	0,000,218,385,793	
	0,021,297,709	0,000,226,779,805	
	0,022,369,892	0,000,240,287,922	
	0,105,079,990	0,001,096,433,943	
0,2447	0,024,770,845	0,000,312,711,872	10,869
	0,020,368,872	0,000,224,057,504	
	0,020,191,102	0,000,204,279,558	
	0,021,986,559	0,000,241,855,718	
	0,087,317,378	0,000,982,904,652	
0,297	0,023,446,040	0,000,276,475,904	10,689
	0,030,074,579	0,000,453,100,219	
	0,026,687,584	0,000,356,305,172	
	0,029,643,886	0,000,439,525,320	
	0,109,852,089	0,001,525,406,615	
0,50	0,036,840,160	0,000,678,325	13,224
	0,039,374,512	0,000,775,577	
	0,037,106,853	0,000,658,547	
	0,113,321,555	0,002,142,449	

Nous pouvons maintenant comparer les différences existant entre les éléments déduits de l'expérience et de la courbe calculée.

Cette comparaison s'effectuera au moyen des colonnes (4) et (5) du tableau suivant : on remarquera combien sont légères les différences obtenues.

Les colonnes (8), (9) et (10) donnent les vitesses pour les filets central, moyen et à la paroi.

PENTES.	VITESSES MOYENNES.	DISTANCES du centre du tuyau aux filets dont la vitesse a été mesurée.		EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant l'expérience	la formule $V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{RI}$	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse moyenne $V - u = K\, 0,689^{\frac{3}{2}} \sqrt{RI}$	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse à la paroi ou flèche de la courbe $V - w = K \sqrt{R} \sqrt{I}$	VITESSES déduites de la courbe pour le filet central.	moyen.	à la paroi.
(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
				CONDUITE DE 0m,188.						
			mèt.	mèt.	mèt.					
		au-dessus du centre.	0,0637	0,125	0,117					
			0,0325	0,040	0,043					
mèt. 0,00368	mèt. 0,758	au centre..	0,0000			mèt. 0,120	mèt. 0,209	mèt. 0,878	mèt. 0,758	mèt. 0,669
		au-dessous du centre.	0,0325	0,040	0,043					
			0,0637	0,125	0,117					
		au-dessus du centre.	0,0637	0,172	0,173					
			0,0325	0,059	0,063					
0,00805	1,128	au centre..	0,0000			0,177	0,309	1,305	1,128	0,996
		au-dessous du centre.	0,0325	0,059	0,063					
			0,0637	0,172	0,173					
		au-dessus du centre.	0,0637	0,254	0,223					
			0,0325	0,074	0,081					
0,01340	1,488	au centre..	0,0000			0,228	0,399	1,716	1,488	1,317
		au-dessous du centre.	0,0325	0,074	0,081					
			0,0637	0,254	0,223					
		au-dessus du centre.	0,0637	0,0323	0,289					
			0,0325	0,106	0,105					
0,02250	1,933	au centre..	0,0000			0,296	0,517	2,229	1,933	1,712
		au-dessous du centre	0,0325	0,106	0,105					
			0,0637	0,356	0,289					

PENTES. (1)	VITESSES MOYENNES. (2)	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux filets dont la vitesse a été mesurée. (3)	EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant l'expérience. (4)	EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant la formule $V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i}$. (5)	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse moyenne $V - u = K\, 0{,}689 \sqrt{Ri}$. (6)	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse à la paroi ou flèche de la courbe $V - w = K \sqrt{R} \sqrt{i}$. (7)	VITESSES déduites de la courbe pour le filet central. (8)	VITESSES déduites de la courbe pour le filet moyen. (9)	VITESSES déduites de la courbe pour le filet à la paroi. (10)
CONDUITE DE 0m.188. (Suite.)									
		mèt.	mèt.	mèt.					
		au-dessus du centre. 0,0637	0,407	0,376					
		0,0325	0,124	0,137					
mèt. 0,03810	mèt. 2,506	au centre.. 0,0000			mèt. 0,385	mèt. 0,673	mèt. 2,891	mèt. 2,506	mèt. 2,218
		au-dessous du centre. 0,0325	0,124	0,137					
		0,0637	0,407	0,376					
		au-dessus du centre. 0,0637	0,742	0,638					
		0,0325	0,206	0,233					
0,10980	4,323	au centre.. 0,0000			0,653	1,143	4,976	4,323	3,833
		au-dessous du centre. 0,0325	0,206	0,233					
		0,0637	0,742	0,638					
CONDUITE DE 0m.2432.									
		au-dessus du centre. 0,088	0,119	0,112					
		0,044	0,037	0,040					
0,00202	0,452	au centre.. 0,000			0,104	0,183	0,556	0,452	0,373
		au-dessous du centre. 0,044	0,037	0,040					
		0,088	0,119	0,112					
		au-dessus du centre. 0,088	0,182	0,172					
		0,044	0,065	0,061					
0,00473	0,707	au centre.. 0,000			0,160	0,279	0,867	0,707	0,588
		au-dessous du centre. 0,044	0,065	0,061					
		0,088	0,182	0,172					
		au-dessus du centre. 0,088	0,304	0,379					
		0,[illegible]	0,130	0,134					
0,02290	1,547	au centre.. 0,000			0,352	0,615	1,899	1,547	1,284
		au-dessous du centre. 0,044	0,142	0,134					
		0,088	0,332	0,379					

PENTES. (1)	VITESSES MOYENNES. (2)	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux filets dont la vitesse a été mesurée. (3)	EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant l'expérience. (4)	EXCÈS ... suivant la formule $V-v=K\frac{a^{\frac{3}{2}}}{R}\sqrt{i}$. (5)	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse moyenne $V-u=K\,\overline{0,6892}\,\sqrt{Ri}$. (6)	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse à la paroi ou flèche de la courbe $V-w=K\sqrt{R}\sqrt{i}$. (7)	VITESSES déduites de la courbe pour le filet central. (8)	moyen. (9)	à la paroi. (10)
CONDUITE DE 0^m,2432. (Suite.)									
			mèt.	mèt.	mèt.				
		au-dessus du centre. 0,088	0,502	0,448					
		au-dessus du centre. 0,044	0,155	0,158					
met. 0,03200	met. 1,833	au centre.. 0,000			met. 0,416	met. 0,727	met. 2,219	met. 1,833	met. 1,522
		au-dessous du centre. 0,044	0,155	0,158					
		au-dessous du centre. 0,088	0,439	0,448					
		au-dessus du centre. 0,088	0,904	0,936					
		au-dessus du centre. 0,044	0,318	0,331					
0,13951	3,833	au centre.. 0,000			0,869	1,520	4,702	3,833	3,152
		au-dessous du centre. 0,044	0,337	0,331					
		au-dessous du centre. 0,088	0,743	0,936					
CONDUITE DE 0^m,2447.									
		au-dessus du centre. 0,088	0,099	0,094					
		au-dessus du centre. 0,044	0,029	0,033					
0,00165	0,537	au centre.. 0,000			0,088	0,154	0,625	0,537	0,471
		au-dessous du centre. 0,044	0,029	0,033					
		au-dessous du centre. 0,088	0,099	0,094					
		au-dessus du centre. 0,088	0,186	0,164					
		au-dessus du centre. 0,044	0,058	0,056					
0,00498	0,949	au centre.. 0,000			0,153	0,268	1,102	0,949	0,834
		au-dessous du centre. 0,044	0,058	0,058					
		au-dessous du centre. 0,088	0,152	0,164					
		au-dessus du centre. 0,088	0,353	0,331					
		au-dessus du centre. 0,044	0,125	0,117					
0,02033	1,904	au centre.. 0,000			0,310	0,542	2,214	1,904	1,672
		au-dessous du centre. 0,044	0,149	0,117					
		au-dessous du centre. 0,088	0,353	0,331					

PENTES.	VITESSES MOYENNES.	DISTANCES DU CENTRE DU TUYAU aux filets dont la vitesse a été mesurée.	EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant l'expérience.	EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant la formule $V - v = k\frac{r^{\frac{3}{2}}}{R}\sqrt{Ri}$	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse moyenne $V - u = k\,0{,}693^{\frac{3}{2}}\sqrt{Ri}$	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse à la paroi ou flèche de la courbe $V - w = k\sqrt{R}\sqrt{Ri}$	VITESSES déduites de la courbe pour le filet central	VITESSES déduites de la courbe pour le filet moyen.	VITESSES déduites de la courbe pour le filet à la paroi.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
CONDUITE DE 0m,2447. (Suite.)									
		mèt.	mèt.	mèt.					
		au-dessus du centre. 0,088	0,793	0,781					
		au-dessus du centre. 0,044	0,277	0,276					
mèt. 0,11343	mèt. 4,497	au centre.. 0,000			mèt. 0,733	mèt. 1,280	mèt. 5,230	mèt. 4,497	mèt. 3,950
		au-dessous du centre 0,044	0,307	0,276					
		au-dessous du centre 0,088	0,762	0,781					
CONDUITE DE 0m,297.									
		au-dessus du centre. 0,102	0,080	0,062					
		au-dessus du centre. 0,052	0,025	0,023					
0,00070	0,355	au centre.. 0,000			0,062	0,109	0,417	0,355	0,308
		au-dessous du centre. 0,052	0,025	0,023					
		au-dessous du centre. 0,102	0,080	0,062					
		au-dessus du centre 0,102	0,188	0,184					
		au-dessus du centre 0,052	0,062	0,067					
0,00617	1,236	au centre. 0,000			0,185	0,324	1,421	1,236	1,097
		au-dessous du centre. 0,052	0,065	0,067					
		au-dessous du centre. 0,102	0,174	0,184					
		au-dessus du centre 0,102	0,265	0,249					
		au-dessus du centre 0,052	0,092	0,091					
0,01125	1,665	au centre. 0,000			0,250	0,437	1,915	1,665	1,478
		au-dessous du centre. 0,052	0,092	0,091					
		au-dessous du centre. 0,102	0,265	0,249					
		au-dessus du centre 0,102	0,353	0,352					
		au-dessus du centre 0,052	0,118	0,128					
0,02251	2,365	au centre.. 0,000			0,353	0,618	2,718	2,365	2,100
		au-dessous du centre 0,052	0,118	0,128					
		au-dessous du centre 0,102	0,334	0,352					

PENTES.	VITESSES MOYENNES.	DISTANCES au centre du tuyau aux filets dont la vitesse a été mesurée.		EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant l'expérience.	EXCÈS DE LA VITESSE du filet central sur celle des autres filets suivant la formule $V - v = K \frac{r^2}{R} \sqrt{Ri}$	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse moyenne $V - u = K\,0{,}689\tfrac{1}{2}\sqrt{Ri}$	EXCÈS DE LA VITESSE AU CENTRE sur la vitesse à la paroi ou flèche de la courbe $V - v = K\sqrt{R}\sqrt{i}$	VITESSES déduites de la courbe pour le filet central.	VITESSES déduites de la courbe pour le filet moyen.	VITESSES déduites de la courbe pour le filet à la paroi.
(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
				CONDUITE DE 0m,50.						
mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00060	0,4752	au-dessus du centre.	0,17	0,094	0,091	0,093	0,162	0,565	0,4752	0,406
			0,09	0,036	0,035					
		au centre..	0,00							
		au-dessus du centre.	0,17	0,123	0,131					
			0,09	0,050	0,050					
0,00125	0,7951	au centre..	0,00			0,134	0,234	0,929	0,7951	0,695
		au-dessous du centre.	0,09	0,050	0,050					
			0,17	0,123	0,131					
		au-dessus du centre.	0,17	0,186	0,189					
			0,09	0,070	0,073					
0,00260	1,1197	au centre..	0,00			0,193	0,337	1,313	1,120	0,970
		au-dessous du centre.	0,09	0,078	0,073					
			0,17	0,204	0,189					

C'est au moyen des résultats du tableau ci-dessus que les courbes dessinées, planche XI, dans les tuyaux 0m,188, 0m,2432, 0m,2447, 0m,297, 0m,50, ont été tracées.

L'antépénultième tableau peut donner lieu à plusieurs observations :

1° On voit d'abord que les valeurs successives de K sont,

Tuyau de 0m,188 11,253
——— 0 ,2432 (parois recouvertes de dépôts).... 11,654
——— 0 ,2447 (précédent nettoyé)............ 10,869
——— 0 ,297 10,689
——— 0 ,50 13,224

Or, le coefficient de la résistance du tuyau de $0^m,2432$ est,

dans l'équation de la forme $Ri = b_1 v^2$, de....... 0,001,168,

celui du tuyau nettoyé $0^m,2447$, de............ 0,000,703,

de là découle la conséquence que la surface du tuyau paraît être sans influence sur les vitesses relatives des filets fluides.

Ce résultat aurait pu être confirmé par d'autres expériences non moins décisives.

Je veux parler de celles opérées sur la conduite en tôle et bitume de $0^m,196$ de diamètre.

L'appareil destiné à mesurer les vitesses relatives des filets fluides lui avait été appliqué. Une absence pour mon service et la nécessité où l'on fut de démonter cette conduite pendant cette absence ne me permirent point d'assister aux opérations ou de les recommencer, ainsi que je m'y étais constamment assujetti.

Lorsque le tableau des expériences me fut remis, je remarquai que les vitesses au-dessus et au-dessous de l'axe n'étaient plus les mêmes.

Je remarquai en même temps que pour chaque pente le manomètre destiné à mesurer les pressions n'était point resté fixe; il montait lorsque la tige de l'appareil s'élevait pour la détermination des vitesses de la partie supérieure du tuyau; en même temps les cotes accusées par ce dernier appareil décroissaient relativement à celles obtenues dans les parties inférieures.

Il y avait donc un désordre causé par des corps étrangers que les eaux avaient conduits et dont l'influence variait avec la position de l'instrument.

J'avais quelquefois remarqué des effets analogues, et en faisant démonter l'appareil j'en avais toujours reconnu la cause : quelques parcelles de *mousse* engagées dans les orifices des tubes, et plus ou moins comprimées dans les mouvements de la tige, donnaient lieu à des ralentissements plus ou moins considérables de vitesse.

Malheureusement, on n'a point songé à nettoyer l'appareil pour



recommencer les expériences, et j'ai dû renoncer à transcrire des opérations qui ne me présentaient aucun degré de certitude.

Je dirai cependant que l'on reconnaissait encore la trace évidente des lois précédemment observées, et que les différences de vitesse n'avaient en général subi aucune diminution en les comparant à celles déduites des formules.

Je crois donc que l'on peut admettre comme vraie l'observation première qui se déduit d'ailleurs de la comparaison des résultats obtenus dans les tuyaux de $0^m,2432$ et $0^m,2447$.

Or, lorsque l'on remarque que le coefficient de la résistance pour le tuyau de tôle et bitume est 0,000,446,5, on en conclura qu'au moins entre des limites de résistance comprises entre 0,001,168 (parois recouvertes de dépôts) et 0,000,446,5 (parois enduites de bitume vitrifié) la courbe

$$V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i}$$

ne semble dépendre que des actions intérieures du fluide et nullement des frottements contre les parois.

2° On se rappelle que j'ai cherché à établir dans les expériences 26 *bis*, 26 *ter*, 26 *quater* qu'une impulsion centrale excessivement vive n'altérait point d'une manière appréciable la loi de distribution des vitesses des filets fluides.

D'abord elle ne modifie pas la vitesse à la paroi, puisque les différences des colonnes manométriques qui les mesurent ne varient point sous l'influence de cette impulsion.

En second lieu, la vitesse moyenne conservant la valeur que les formules lui assignent sans impulsion, la différence entre la vitesse moyenne et celle à la paroi reste la même, d'où résulte la conséquence précitée.

J'ai voulu savoir si une expérience directe conduirait encore à ce résultat.

J'ai donc placé à 11 mètres en amont de l'appareil destiné à

mesurer les vitesses dans le tuyau en fonte de $0^m,188$ un diaphragme percé d'un orifice de $0^m,03$.

La charge sur cet orifice (expérience 165 *bis*) était $20^m,206$, d'où, pour la vitesse par seconde,

$$v = 4,42\sqrt{20,206} = 19^m,87\text{ [1]}.$$

Or, la vitesse moyenne dans le tuyau était...... $0^m,346$ et l'on avait pour la pente correspondante tirée de la formule expérimentale applicable au tuyau de $0^m,188$

$$i = \frac{0,000,012,276\,v + 0,000,572\,v^2}{0,094} = \ldots\ldots\; 0^m,000,774$$

Mais nous avons, pour la formule des différences de vitesse dans le tuyau de $0^m,188$,

$$V - v = 11,253\,\frac{r^{\frac{3}{2}}}{R}\sqrt{i},$$

l'expérience suivante ayant été faite aux distances $0^m,0325$ et $0^m,0637$ de l'axe, il convient de substituer à $r^{\frac{3}{2}}$ les nombres 0,00586 et 0,01608, on aura donc pour les valeurs cherchées :

$$V - v = 0^m,02,$$
$$V - v = 0\;\;,059.$$

Or, l'expérience a donné les résultats suivants :

appareil des vitesses	au centre................	$0^m,040$
	à $0^m,0325$ de l'axe........	0 ,039
	à 0 ,0637 de l'axe........	0 ,037
manomètre............................		0 ,03

[1] Le diamètre de l'orifice étant $0^m,03$ et la section 0,000,708,49, le volume théorique serait $14^l,078$. Le volume effectif débité par la conduite étant de $9^l,609$, le coefficient de contraction $= \dfrac{9,609}{14,078} = 0,682$.

différences donnant les hauteurs dues

aux vitesses........	au centre..............	0^m,010
	à 0^m,0325.............	0 ,009
	à 0 ,0637.............	0 ,007

d'où pour les vitesses correspondantes...........	0^m,442.17
	0 ,420.00
	0 ,370.00

différences de vitesse	distance du centre 0^m,0325.	0^m,022.17
	————— 0 ,0637.	0 ,072.17

Mais ces différences devant être atténuées dans le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse 0^m,37 prise sensiblement à la distance de la vitesse moyenne, il viendra en dernier lieu pour les différences de vitesse cherchées :

Suivant l'expérience.	Suivant la formule.
0^m,021	0^m,02
0 ,066	0 ,056

Cette coïncidence, presque parfaite entre la formule et l'expérience, lorsqu'il s'agit d'une vitesse moyenne aussi faible et d'une impulsion aussi vive, me semble justifier entièrement cette assertion, que l'effet de la cohésion de l'eau détruit presque immédiatement l'influence des plus grandes vitesses.

En serait-il de même si l'on opérait par voie de succion, c'est-à-dire si, en aval de l'instrument, on eût disposé les choses de manière que le filet central eût été suivi de filets marchant beaucoup plus rapidement que ceux du reste de la section?

L'expérience paraît indiquer le contraire.

En effet, si l'on jette les yeux sur le coefficient de la formule

$$V - v = K \frac{r^{\frac{1}{2}}}{R} \sqrt{i}$$

relative au tuyau de 0,50, on remarquera que ce coefficient est supérieur à ceux des tuyaux qui précèdent.

J'ai longtemps cherché à m'expliquer cette différence, et je crois en avoir trouvé la raison dans la manière dont les appareils d'écoulement étaient disposés.

La conduite de $0^m,50$ n'arrivait pas avec le même diamètre jusqu'au cylindre de décharge.

Afin de pouvoir employer un robinet de $0^m,30$, on avait raccordé la conduite de $0^m,50$ et une conduite de $0^m,297$ au moyen d'un cône tronqué dont les diamètres étaient de $0^m,30$ et de $0^m,50$.

Ce cône était placé à $4^m,33$ en aval du manomètre n° 1, à $3^m,34$ en aval de l'appareil destiné à mesurer les vitesses[1].

Or si au moyen de la formule

$$V - v = K \frac{r^{\frac{1}{2}}}{R} \sqrt{i}$$

nous calculons : 1° pour le tuyau de $0^m,50$, 2° pour celui de $0^m,297$ les $V - v$ relatifs à la vitesse à la paroi et à la vitesse moyenne, en introduisant pour K la valeur moyenne résultant de l'ensemble des tuyaux, moins celui de 0,50 ou 11,116, en remarquant de plus

	Dans le tuyau de $0^m,50$.
qu'aux vitesses moyennes de..........	$0^m,4752$
	0 ,7951
	1 ,1197
	Dans le tuyau de $0^m,297$.
correspondent les vitesses de..........	$1^m,347$
	2 ,253
	3 ,173

[1] Voici comment le raccordement du cône était disposé :

Du cylindre vertical dans lequel débouchait le tuyau de $0^m,297$ au robinet d'arrêt de même diamètre..........	$0^m,42$
Largeur du robinet d'arrêt à vanne..........	0 ,60
Longueur du cône..........	1 ,00
Distance de l'appareil des vitesses au joint de raccordement du cône avec le tuyau de $0^m,50$..........	3 ,34
TOTAL.....	$5^m,36$

et qu'en même temps ces dernières vitesses sont dues d'après la formule

$$i = \frac{0{,}000.023.508\, v + 0{,}000.585.53\, v^2}{0{,}1485},$$

aux pentes............................ $\begin{cases} 0^{m}{,}007.365 \\ 0\ {,}020.380 \\ 0\ {,}040.205 \end{cases}$

on pourra former le tableau suivant :

DIFFÉRENCES entre les vitesses à la paroi et au centre.		DIFFÉRENCES entre les vitesses centrales et moyennes	
Tuyau de $0^{m},297$.	Tuyau de $0^{m},50$.	Tuyau de $0^{m},297$.	Tuyau de $0^{m},50$.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,3677	0,1352	0,2103	0,07786
0,6117	0,1966	0,3498	0,1124
0,8592	0,2835	0,4914	0,1621

d'où l'on déduira le tableau suivant, étant données les vitesses moyennes :

VITESSE centrale.		DIFFÉRENCES.	VITESSE moyenne.		DIFFÉRENCES.	VITESSE à la paroi.		DIFFÉRENCES
Tuyau de $0^{m},297$.	Tuyau de $0^{m},50$.		Tuyau de $0^{m},297$.	Tuyau de $0^{m},50$.		Tuyau de $0^{m},297$.	Tuyau de $0^{m},50$.	
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1,5600	0,5550	1,0050	1,3470	0,4752	0,8718	1,1923	0,4198	0,7725
2,6028	0,9075	1,6953	2,2530	0,7951	1,4579	1,9911	0,7109	1,2802
3,6644	1,2818	2,3826	3,1730	1,1197	2,0533	2,8052	0,9983	1,8069

On voit donc qu'en passant du tuyau de $0^{m},50$ au tuyau de $0^{m},297$ les différences de vitesse sont plus grandes pour les filets centraux que pour les filets moyens, et plus grandes aussi pour ces derniers que pour ceux à la paroi.

Il en résulte qu'une sorte de succion doit se produire, laquelle peut à la fois déterminer des courants transversaux et des accroissements dans les flèches des courbes du tuyau de $0^m,50$.

C'est ainsi que l'on peut attribuer l'accroissement du coefficient K dans ce dernier tuyau à la manière dont étaient disposés les appareils des expériences : on a obtenu les mêmes résultats que si l'on eût opéré sur un liquide d'une moindre cohésion.

Il paraîtrait ainsi que c'est de la moyenne des coefficients trouvés pour les quatre premiers tuyaux que devrait résulter la valeur de K.

On aurait ainsi . . . . $K = 11,116$

La moyenne générale, au reste, eût donné . . . $K = 11,537$

Il semble dès lors assez indifférent d'employer l'une ou l'autre de ces valeurs. On pourrait adopter 11,30

Cette valeur de K étant ainsi déterminée expérimentalement, on obtiendra facilement celle de $\frac{2}{9K^2}$, ou du multiplicateur du premier membre de l'équation différentielle suivante, précédemment établie

$$\frac{2}{9K^2}\, 2\pi r \left(R\frac{dv}{dr}\right)^2 = \pi r^2 i$$

qui devient, en faisant disparaître les facteurs communs et en représentant $\frac{2}{9K^2}$ par ε,

$$\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2}$$

$$\frac{2}{9K^2} \text{ ou } \varepsilon \text{ est égal à } \frac{2}{9\times 11,30^2} = 0,00174.$$

C'est-à-dire que dans un tuyau d'un rayon égal à l'unité, et pour la surface cylindrique correspondant à la distance où l'inclinaison de la tangente de la courbe $\frac{dv}{dr} = 1$, la résistance au déplacement relatif qui a lieu, pendant l'unité de temps, entre les couches en contact est égale à $1^k,74$ par mètre carré.

Dans le cas d'une pente d'un centimètre par mètre pour un tuyau de rayon égal à l'unité, et dans l'hypothèse $\frac{dv}{dr} = 1$, on a donc :

$$0,00174 = \frac{r}{2}\,0,01,$$

d'où

$$r = 0^{m},348,$$

c'est-à-dire que dans les circonstances précédentes le rayon à l'extrémité duquel s'exercerait la résistance $1^{k},74$ serait égal à $0^{m},348$: on voit par ce qui précède qu'il suffit d'une vitesse relative infiniment petite pour faire naître, dans les couches fluides en contact, une résistance comparable à celle qui pourrait être engendrée par une vitesse finie du liquide glissant sur une paroi solide. M. Dupuit a donc pu prétendre que de Prony ne parait pas avoir exprimé une idée précise lorsqu'il a dit : « cette cohésion des molécules fluides entre elles, et celle des mêmes molécules à la matière dont le tuyau est formé ou dans laquelle le canal est creusé, doivent être en général représentées par des valeurs différentes, mais comparables ou de même ordre les unes par rapport aux autres. »

L'adhérence à la paroi, en effet, peut être expérimentée sous une vitesse finie quelconque, tandis que ce qu'on appelle *la cohésion* ne peut l'être que sous l'influence d'une vitesse relative infiniment petite; car, de quelque manière qu'on fasse l'expérience, ajoute justement M. Dupuit, *la cohésion du liquide sera toujours assez forte pour que la vitesse relative des deux surfaces soit sensiblement nulle.*

Ces deux forces de l'adhérence et de la cohésion sont, on le voit, d'un ordre différent et sans mesure commune.

Reprenons maintenant pour les discuter avec plus de détails les équations connues :

$$V - w = K\sqrt{Ri},$$
$$V - u = \frac{4}{7}K\sqrt{Ri}.$$

d'où l'on tire, pour les valeurs de la vitesse à la paroi et de la vitesse maximum en fonction de la vitesse moyenne,

$$w = u - \frac{3}{7} K \sqrt{Ri},$$
$$V = u + \frac{4}{7} K \sqrt{Ri}.$$

Si nous supposons que l'équation de la vitesse moyenne ne comprenne que la seconde puissance de cette vitesse, elle prendra, ainsi qu'on l'a vu, la forme

$$b_1 u^2 = \frac{Ri}{2} \quad \text{d'où} \quad u = \sqrt{\frac{Ri}{2 b_1}},$$

on aura donc

$$w = \sqrt{Ri} \left(\frac{1}{\sqrt{2 b_1}} - \frac{3}{7} K \right),$$
$$V = \sqrt{Ri} \left(\frac{1}{\sqrt{2 b_1}} + \frac{4}{7} K \right).$$

Supposons encore que dans l'équation qui donne la vitesse de l'eau à la paroi, et dont la forme générale est, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre,

$$a_0 w + b_0 w^2 = \frac{Ri}{2},$$

on ne conserve que le terme où w est élevé au carré, il viendra

$$b_0 w^2 = \frac{Ri}{2}, \quad \text{d'où} \quad w = \sqrt{\frac{Ri}{2 b_0}},$$

on aura donc

$$\sqrt{\frac{Ri}{2 b_0}} = \left(\frac{1}{\sqrt{2 b_1}} - \frac{3}{7} K \right) \sqrt{Ri},$$

d'où

$$\frac{1}{\sqrt{b_0}} = \frac{1}{\sqrt{b_1}} - \frac{3}{7} \sqrt{2}\ K,$$

d'où enfin

$$b_0 = \frac{49\, b_1}{(7 - 3\sqrt{2}\, K\, \sqrt{b_1})^2} = \frac{49\, b_1}{\left(7 - 2\sqrt{\frac{b_1}{\varepsilon}}\right)^2}.$$

Pour la relation existant entre le coefficient de la résistance à la paroi et le coefficient de cette même résistance rapporté à la vitesse moyenne; il sera toujours facile d'obtenir b_0 en fonction des valeurs expérimentales de b_1 du tableau du quatrième chapitre.

Seulement il faudra remarquer que, comme j'ai adopté pour l'équation de la vitesse moyenne la forme $b_1\, u^2 = R\, i$[1] au lieu de la forme habituelle........ $b_1\, u^2 = \frac{R\, i}{2}$, les b_1 du tableau précité devront être divisés par 2 avant d'être introduits dans l'expression qui donne b_0 en fonction de b_1; sinon, cette expression devrait être corrigée pour les substitutions à faire, et deviendrait

$$b_0 = \frac{1}{2}\, \frac{49\, b_1}{(7 - 3\, K\, \sqrt{b_1})^2} = \frac{1}{2}\, \frac{49\, b_1}{\left(7 - \sqrt{\frac{2\, b_1}{\varepsilon}}\right)^2}.$$

On peut arriver à l'équation ci-dessus posée

$$b_0\, w^2 = \frac{R\, i}{2},$$

au moyen de la relation suivante facile à établir

$$2\, \pi\, R\, b_0\, w^2 = \varepsilon\, R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 2\, \pi\, R,$$

$\frac{dv}{dr}$ devant être pris dans l'hypothèse de $r = R$ rayon du tuyau.

Le premier membre, en effet, représente la résistance[2] que la couche en contact avec la paroi éprouve de la part de cette dernière.

[1] En agissant ainsi, j'ai eu pour but de comprendre toutes les constantes dans le coefficient b.

[2] Dans l'hypothèse, bien entendu, où cette résistance est considérée comme uniquement proportionnelle au carré de la vitesse de la couche liquide en contact avec la paroi; hypothèse suffisamment d'accord avec les faits pratiques.

Le second membre est l'expression expérimentale de l'effort que le cylindre liquide de rayon R fait pour entrainer cette même couche.

Il doit donc y avoir équilibre entre ces deux forces.

Or $\frac{dv}{dr}$, pris à l'extrémité du rayon du tuyau, est égal à $-\frac{3}{2}K\sqrt{\frac{i}{R}}$ comme on peut le déduire de l'équation

$$V - v = K\frac{r^{\frac{3}{2}}}{R}\sqrt{i},$$

d'où, en substituant dans l'équation d'équilibre cette valeur de $\frac{dv}{dr}$ il viendra

$$b_0 w^2 = \frac{Ri}{2}.$$

Nous avons obtenu l'équation de la vitesse maximum et de la vitesse à la paroi en fonction du coefficient de la résistance rapporté à la vitesse moyenne et du coefficient relatif aux actions intérieures du fluide ou ε; il est facile d'arriver aux équations de la vitesse maximum et de la vitesse moyenne en fonction du coefficient de la résistance à la paroi et de ε, au moyen de la relation ci-dessus trouvée,

$$\frac{1}{\sqrt{b_1}} = \frac{1}{\sqrt{b_0}} + \frac{3}{7}\sqrt{2}\,K = \frac{1}{\sqrt{b_0}} + \frac{2}{7\sqrt{\varepsilon}}$$

et il viendra pour la vitesse maximum,

$$V = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\left(1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right).[1]$$

[1] On parviendrait encore à la même équation en remarquant que

$$V - w = K\sqrt{Ri} = \frac{\sqrt{2Ri}}{3\sqrt{\varepsilon}},$$

laquelle combinée avec

$$w = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}$$

reproduit l'équation de la vitesse maximum en fonction de b_0 et de ε.

la vitesse moyenne étant

$$u = \frac{3V + 4w}{7},$$

on a, en remplaçant V et w par leurs valeurs précédentes,

$$u = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\,\frac{\left[4 + 3\left(1 + \frac{2}{3}\right)\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right]}{7} = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\left(1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right),$$

d'où le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse maximum :

$$\frac{u}{V} = \frac{1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}.$$

Ce rapport, exprimé en fonction du coefficient de la vitesse moyenne et de ε, deviendrait :

$$\frac{u}{V} = \frac{\sqrt{\frac{Ri}{2b_1}}}{\sqrt{\frac{Ri}{2b_1}}\left(1 + \frac{4}{7}K\sqrt{2b_1}\right)} = \frac{7}{7 + 4K\sqrt{2b_1}} = \frac{7}{7 + \frac{8}{3}\sqrt{\frac{b_1}{\varepsilon}}}.$$

Mais encore ici il convient de remarquer, par la raison déjà exprimée, qu'il faudra, avant de les substituer dans la formule ci-dessus, diviser par 2 les b_1 déduits de la table du quatrième chapitre ; ou bien encore substituer les valeurs de b_1 telles qu'elles se trouvent inscrites au tableau dans la formule modifiée :

$$\frac{u}{V} = \frac{7}{7 + 4K\sqrt{b_1}} = \frac{7}{7 + \frac{4}{3}\sqrt{\frac{2b_1}{\varepsilon}}}.$$

Nous allons maintenant appliquer les formules

$$b_0 = \frac{1}{2}\,\frac{49\,b_1}{(7-3K\sqrt{b_1})^2},\quad w = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_0}},\quad V = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_0}}\left(1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right),$$

$$u = \frac{3\,V+4\,w}{7} = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_0}}\left(1+\frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right),\quad \frac{u}{V} = \frac{1+\frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}} = \frac{7}{7+\frac{4}{3}\sqrt{\frac{2\,b_1}{\varepsilon}}},$$

dans lesquelles on prendra pour b_1 les valeurs déduites du tableau du chapitre IV.

Ces applications seront faites aux tuyaux présentant les diamètres de $0^m,188$, $0^m,2432$, $0^m,2447$, $0^m,297$, $0^m,50$.

Elles nous permettront d'obtenir les résultats consignés dans le tableau suivant :

Diamètres des tuyaux.	Pentes.	Valeurs de b_1.	Valeurs de K.	$\varepsilon = \frac{2}{9K^2}$.	$b_0 = \frac{1}{2}\,\frac{49\,b_1}{(7-3K\sqrt{b_1})^2}$.	$w = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_0}}$.	$V = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_0}}\left(1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right)$.	$u = \frac{3V+4w}{7}$ ou $u = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_0}}\left(1+\frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right)$.	$\frac{u}{V} = \frac{1+\frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}$ ou $\frac{u}{V} = \frac{7}{7+\frac{4}{3}\sqrt{\frac{2\,b_1}{\varepsilon}}}$
mèt.	mèt.					mèt.	mèt.	mèt.	
0,188	0,00368	0,000,585	11,233	0,001,755	0,000,374,848	0,679	0,889	0,769	0,865
	0,00605					1,005	1,314	1,137	0,865
	0,01340					1,296	1,696	1,467	0,865
	0,02250					1,680	2,197	1,901	0,865
	0,03810					2,186	2,859	2,474	0,865
	0,10980					3,710	4,854	4,200	0,865
0,2432	0,00202	0,001,168	11,654	0,001,636	0,000,849,16	0,380	0,563	0,459	0,815
	0,00473					0,582	0,901	0,702	0,815
	0,02290					1,281	1,895	1,544	0,815
	0,03200					1,514	2,241	1,825	0,814
	0,13981					3,164	4,683	3,815	0,815
0,2447	0,00165	0,000,703,3	10,869	0,001,881	0,000,457,782	0,470	0,620	0,534	0,861
	0,00498					0,816	1,076	0,928	0,861
	0,02035					1,649	2,179	1,876	0,861
	0,11343					3,893	5,145	4,430	0,861
0,297	0,00070	0,000,612,9	10,689	0,001,945	0,000,389,865	0,365	0,474	0,412	0,869
	0,00617					1,084	1,408	1,223	0,869
	0,01125					1,464	1,901	1,651	0,868
	0,02251					2,071	2,689	2,335	0,868
0,50	0,00060	0,000,514,3	13,224	0,001,271	0,000,338,59	0,471	0,633	0,540	0,853
	0,00125					0,679	0,913	0,779	0,853
	0,00260					0,980	1,317	1,124	0,853

On voit que ces résultats sont concordants avec ceux du tableau de la page 157 où les vitesses à la paroi, au centre et moyenne avaient été calculées à l'aide de la vitesse moyenne expérimentale et de la formule

$$V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i}.$$

Les légères différences que l'on remarquera proviennent de ce que l'on a pris dans le premier tableau les vitesses moyennes expérimentales elles-mêmes, tandis que dans le tableau ci-dessus on s'est borné à recourir aux coefficients de la résistance exprimé dans la formule d'interpolation monôme correspondant à chacun des tuyaux précités, ainsi que l'indique la seconde colonne du tableau précédent.

J'ai dû prendre les valeurs successivement trouvées pour ε, puisqu'on avait pareillement agi dans le tableau de la page 157; on remarquera, d'ailleurs, que les chiffres qui donnent ε sont presque identiques, à l'exception de celui qui correspond au tuyau de $0^m,50$ de diamètre; mais j'ai cherché à entrevoir la raison de cette anomalie apparente; elle tenait aux circonstances dans lesquelles ce tuyau était placé; ces circonstances agissaient en effet comme si la cohésion de l'eau eût diminué, puisqu'elles avaient pour résultat d'agrandir la flèche de la courbe.

En se rappelant la relation $u = \frac{3V + 4w}{7}$ et en joignant aux deux équations

$$w = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_1}},$$

$$V = \sqrt{\frac{R\,i}{2\,b_1}} \left(1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_1}{\varepsilon}}\right),$$

l'expression générale

$$V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i} = 11{,}30 \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i},$$

on aura tous les éléments nécessaires pour calculer les vitesses de chacun des filets de la section du tuyau.

On prendrait pour ε la valeur 0,00174 : les valeurs de b_1 se déduiraient de l'expression $b_1 = \frac{1}{2} \frac{49\, b_1}{(7 - 3K\sqrt{b_1})^2}$ dans laquelle b_1 est égal aux chiffres de la 3e colonne du tableau de la page 111, chiffres variables avec le diamètre du tuyau.

VALEURS DANS LES TUYAUX CYLINDRIQUES DES RAPPORTS

$$\alpha = \frac{\int_R^0 2\pi r\, dr\, v^3}{\pi R^2 u^3} \text{ ET } \alpha' = \frac{\int_R^0 2\pi r\, dr\, v^2}{\pi R^2 u^2}.$$

Nous rechercherons maintenant quel est dans les tuyaux cylindriques le rapport de la somme des forces vives des filets du courant, pris chacun avec sa vitesse réelle, à la force vive de ce même courant, dans l'hypothèse où tous les filets fluides seraient animés de la vitesse moyenne.

M. le général Poncelet a démontré que ce rapport était toujours plus grand que l'unité.

Appelons α ce rapport;

v la vitesse d'un filet quelconque dans une section normale à la direction du courant;

r le rayon correspondant à la vitesse v;

u la vitesse moyenne;

V la vitesse maximum;

R le rayon du tuyau.

L'équation qui résulte de l'énoncé de la question est

$$\alpha \pi R^2 u^3 = \int_R^0 2\pi r dr v^3.$$

Or on a

$$v = V - K \frac{r}{R}^{\frac{3}{2}} \sqrt{i}.$$

Substituant et intégrant entre les limites o et R, il viendra, après avoir divisé les deux membres de l'équation par πR^2,

$$\alpha u^3 = V^3 - \frac{4}{13} K^3 i^{\frac{3}{2}} R^{\frac{3}{2}} + \frac{6}{5} V K^2 R i - \frac{12}{7} V^2 K \sqrt{Ri}.$$

Entre la vitesse maximum et la vitesse moyenne existe, comme on l'a vu, la relation

$$\frac{7}{4}(V - u) = K\sqrt{Ri},$$

l'équation précédente peut donc être ramenée à la forme suivante :

$$\alpha = \frac{V^3}{u^3} - 3\frac{V^2}{u^2}\left(\frac{V}{u} - 1\right) + 3{,}675\frac{V}{u}\left(\frac{V}{u} - 1\right)^2 - 1{,}65\left(\frac{V}{u} - 1\right)^3.$$

Or de l'identité

$$\left[\frac{V}{u} - \left(\frac{V}{u} - 1\right)\right]^3 = 1$$

on tire

$$\frac{V^3}{u^3} - 3\frac{V^2}{u^2}\left(\frac{V}{u} - 1\right) = 1 - 3\frac{V}{u}\left(\frac{V}{u} - 1\right)^2 + \left(\frac{V}{u} - 1\right)^3,$$

donc

$$\alpha = 1 + 0{,}675\frac{V}{u}\left(\frac{V}{u} - 1\right)^2 - 0{,}65\left(\frac{V}{u} - 1\right)^3,$$

d'où

$$\text{(A)} \qquad \alpha = 1 + 0{,}65\left(\frac{V}{u} - 1\right)^2\left(1 + 0{,}0385\frac{V}{u}\right).$$

Or, si l'on jette les yeux sur le tableau précédent, on verra que la plus grande valeur de $\frac{V}{u}$ qui correspond au tuyau de $0^m,2432$ de diamètre recouvert de dépôts est.................. 1,22

que la valeur $\frac{V}{u}$ correspondant au tuyau neuf de $0^m,50$ de diamètre est.................................. 1,17

et l'on trouvera, en substituant ces valeurs dans l'expression algé-

brique de α, que cette expression prendra dans ces hypothèses les valeurs suivantes :

$$\alpha = 1,033,$$

$$\alpha = 1,020.$$

La valeur de α peut aussi être donnée en fonction du coefficient de la résistance à la paroi b_0 et de la constante ε; en effet, on a :

$$\frac{V}{u} = \frac{7 + \frac{14}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{7 + 2\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}} = \frac{21 + 14\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{21 + 6\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}},$$

$$\left(\frac{V}{u} - 1\right)^2 = \left(\frac{8\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{21 + 6\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}\right)^2 = \frac{64\, b_0}{(21\sqrt{\varepsilon} + 6\sqrt{b_0})^2},$$

d'où

$$\text{(B)} \quad \alpha = 1 + \frac{41,60\, b_0}{(21\sqrt{\varepsilon} + 6\sqrt{b_0})^2}\left(1 + 0,0385\,\frac{21 + 14\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{21 + 6\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}\right)$$

Enfin, l'expression de α en fonction du coefficient b_1 de la vitesse moyenne et de la constante ε serait :

$$\alpha = 1 + 0,65\,\frac{32}{21^2}\,\frac{b_1}{\varepsilon}\left[1 + 0,0385\left(1 + \frac{4\sqrt{2}}{21}\sqrt{\frac{b_1}{\varepsilon}}\right)\right]$$

On obtient ce résultat en remarquant, comme à la page 173, que

$$\frac{V}{u} = 1 + \frac{4\sqrt{2}}{21}\sqrt{\frac{b_1}{\varepsilon}}.$$

et l'on arrive, calculs opérés et réductions faites, à

(C) $$\alpha = 1 + 0{,}0472\,\frac{b_1}{\varepsilon}\left(1{,}0385 + 0{,}0104\sqrt{\frac{b_1}{\varepsilon}}\right)$$

Or, on a pour le tuyau de $0^m{,}2432$:

$$b_0 = 0{,}000.889,$$
$$b_1 = 0{,}001.1654,$$
$$\varepsilon = 0{,}001.6,$$

d'où l'on tire pour ce tuyau de $0^m{,}2432$,

par la formule B....... $\alpha = 1{,}037$
et par la formule C..... $\alpha = 1{,}036$,

valeurs pareilles à celles déduites de la formule A.

Il faut bien se rappeler que j'ai pris pour l'équation de la vitesse moyenne :

$$b_1 u^2 = Ri$$

et pour celle de la vitesse à la paroi

$$b_0 w^2 = \frac{R}{2} i,$$

ce qui explique pourquoi l'on trouve

$$b_0 < b_1.$$

Pour rendre comparables les valeurs de b_0 et de b_1, il faut donc diviser par 2 la valeur de b_1 trouvée dans la table, et il vient alors :

$$b_1 = \frac{0{,}001.165.4}{2} = 0{,}000.582.7,$$
$$b_0 = 0{,}001.778$$

Une erreur paraît s'être glissée dans le Mémoire de M. Sonnet au sujet du calcul de la quantité α; il a déduit cette quantité de la comparaison de la somme des quantités de mouvement des filets

fluides du courant à la quantité de mouvement de ce même courant pris par rapport à la vitesse moyenne.

Dans cette hypothèse, l'équation qui résulte de l'énoncé de la question est

$$\alpha'\pi R^2 u^2 = \int_R^0 2\pi r dr v^2,$$

et l'on arrive pour les trois équations correspondant aux équations A, B, C à

(A') $$\alpha' = 1 + 0{,}225 \left(\frac{V}{u} - 1\right)^2$$

(B') $$\alpha' = 1 + 1{,}60 \frac{b_1}{(7\sqrt{\varepsilon} + 2\sqrt{b_1})^2}$$

(C') $$\alpha' = 1 + 0{,}016.32 \frac{b_1}{\varepsilon}$$

et l'on tirerait pour le tuyau de $0^m{,}2432$ de diamètre, dans lequel $\frac{V}{u} = 1{,}22$, la valeur $\alpha' = 1{,}01$ de la première des équations posées ci-dessus.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Je terminerai ce chapitre par quelques considérations générales sur l'équation d'équilibre, de laquelle j'ai déduit la courbe des vitesses : on a vu que l'expérience m'avait donné pour cette équation dans un tuyau de rayon R la relation

$$\pi r \varepsilon \left(R \frac{dv}{dr}\right)^2 = \pi r^2 i,$$

d'où

$$\varepsilon \left(R \frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2}.$$

Cette équation d'équilibre exprime que, pour obtenir l'effet de la résistance éprouvée par un cylindre liquide de rayon r dans

un tuyau de rayon R, de la part de la couche enveloppe, il faut prendre le produit du carré du rayon du tuyau par le carré de l'inclinaison de la tangente de la courbe au point que l'on considère, lequel produit ayant en outre pour facteur un coefficient ε dépendant des actions intérieures du liquide.

Jusqu'à ce jour on avait supposé que la résistance dont il vient d'être parlé était proportionnelle à la première puissance de l'inclinaison de la tangente de la courbe multipliée par une constante : cette hypothèse a été successivement reproduite par MM. Navier et Poisson; enfin M. Sonnet, dans un mémoire présenté à l'Académie, et M. Dupuit, dans ses *Études sur le mouvement des eaux courantes*, ont cherché à tirer un parti pratique de l'hypothèse précitée : ils sont arrivés l'un et l'autre pour le mouvement de l'eau dans un tuyau à l'équation d'équilibre

$$-\varepsilon \frac{dv}{dr} = \frac{ri}{2}.$$

On voit qu'il existe entre cette relation et celle que l'expérience m'a donnée deux différences notables :

1° Dans cette dernière l'inclinaison de la tangente de la courbe est élevée au carré;

2° Elle est multipliée par le carré du rayon du tuyau, d'où il suit que la valeur de la résistance provenant des actions intérieures augmente proportionnellement au carré du rayon du tuyau.

Ce résultat de mes expériences, qui n'étaient pas encore faites à l'époque de la publication des ouvrages de MM. Sonnet et Dupuit, ne pouvait être pris en considération par ces hydrauliciens distingués; cependant on paraissait déjà croire, mais sans la préciser, à l'influence des dimensions absolues de la section sur les actions intérieures des molécules fluides.

On lit, en effet, dans un ouvrage de M. de Saint-Venant intitulé *Nouvelles formules relatives aux eaux courantes :*

« Si l'hypothèse de Newton reproduite par MM. Navier et Poisson, et qui consiste à prendre le frottement intérieur proportionnel à

la vitesse relative des filets glissant les uns devant les autres, peut être appliquée approximativement pour les divers points d'une même section fluide, tous les faits connus portent à inférer qu'il faut faire croître le coefficient de cette proportionnalité avec les dimensions des sections transversales; ce qui s'explique, jusqu'à un certain point, en remarquant que les filets ne marchent pas parallèlement entre eux avec des vitesses régulièrement graduées de l'un à l'autre, et que les *ruptures*, les tourbillonnements et d'autres mouvements compliqués ou obliques, qui doivent beaucoup influer sur l'intensité des frottements, se forment et se développent davantage dans les grandes sections. »

Pour arriver à l'appréciation raisonnée de l'intervention de la grandeur absolue de la section dans l'expression de la résistance due aux actions intérieures des fluides, il faudrait connaître le mode suivant lequel cette intervention a lieu : il ne m'a point encore été donné d'arriver à l'interprétation philosophique de cette loi, que l'expérience seule m'a révélée pour les tuyaux et même pour les canaux rectangulaires, comme je le montrerai dans un travail qui fait en ce moment l'objet de mes études.

Au reste, indépendamment des expériences à l'aide desquelles j'ai pu construire de toutes pièces la formule

$$V - v = K \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i},$$

qui recèle, comme on l'a vu, la loi des résistances intérieures, il me paraît légitime de conclure la vérité de cette loi *de la circonstance que seule elle conduit aux expressions connues de la vitesse moyenne et de la vitesse maximum d'un courant.*

Je m'explique.

On sait que l'expérience nous a démontré que lorsque la vitesse moyenne était supérieure à 10 ou 12 centimètres par seconde, son expression algébrique était donnée par l'équation

$$b_1 u^2 = \frac{R i}{2} \quad \text{ou} \quad u = \sqrt{\frac{R i}{2 b_1}}.$$

Si donc l'équation $\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2}$ est vraie, elle doit, dans la même hypothèse, conduire pour la vitesse moyenne à une expression de même forme.

Or, on se rappelle que nous avons trouvé pour la valeur de la vitesse moyenne :

$$u = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\left(1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_1}{\varepsilon}}\right),$$

laquelle est exactement de même forme que la précédente

$$u = \sqrt{\frac{Ri}{2b_1}}.$$

Si, au lieu de supposer que le frottement à la paroi est seulement proportionnel au carré de la vitesse w, nous avions admis, conformément à la loi plus générale de Coulomb, la proportionnalité au binôme $a_0 w + b_0 w^2$, l'équation de la vitesse à la paroi serait devenue (comme on l'a vu chap. Ier):

$$a_0 w + b_0 w^2 = \frac{Ri}{2}.$$

En la résolvant par rapport à w, on obtient

$$w = -\frac{a_0}{2b_0} + \sqrt{\frac{a^2_0}{4b^2_0} + \frac{Ri}{2b_0}},$$

laquelle combinée avec la relation $\frac{9}{2}\varepsilon\frac{(V-w)^2}{R} = i$ donne pour la vitesse maximum :

$$V = -\frac{a_0}{2b_0} + \sqrt{\frac{a^2_0}{4b^2_0} + \frac{Ri}{2b_0}} + \sqrt{\frac{2}{9\varepsilon}}\sqrt{Ri},$$

et comme la vitesse moyenne u est égale à $\frac{3V+4w}{7}$, il vient enfin pour son expression :

$$u = -\frac{a_0}{2b_0} + \sqrt{\frac{a^2_0}{4b^2_0} + \frac{Ri}{2b_0}} + \frac{3}{7}\sqrt{\frac{2}{9\varepsilon}}\sqrt{Ri}.$$

Si l'on remarque maintenant que l'expression générale consacrée par l'expérience pour la vitesse moyenne, lorsque l'on considère le frottement comme proportionnel à un binôme de la forme $a_0 w + b_0 w^2$ est

$$a u + b u^2 = \frac{Ri}{2},$$

il viendra pour la valeur de u:

$$u = -\frac{b}{2a} + \sqrt{\frac{b^2}{4a^2} + \frac{Ri}{2b}},$$

expression qui, bien que présentant une grande analogie avec la précédente, n'offre plus cependant une forme identique.

Mais il faut remarquer que cette identité ne pouvait exister, car l'équation de la vitesse moyenne telle qu'elle a été empiriquement établie ne saurait être théoriquement rigoureuse; elle suppose, en effet, qu'il existe, même dans l'hypothèse où l'on représente le frottement par la formule binôme, un rapport constant entre la vitesse à la paroi et la vitesse moyenne

$$\frac{u}{w} = m, \quad \text{d'où} \quad w = \frac{u}{m},$$

et que par conséquent on puisse passer de l'équation de la vitesse à la paroi

$$a_0 w + b_0 w^2 = \frac{Ri}{2}$$

à celle de la vitesse moyenne, par la substitution de la relation ci-dessus posée, d'où

$$\frac{a_0}{m} u + \frac{b_0}{m^2} u^2 = \frac{Ri}{2},$$

mais si une semblable hypothèse suffit aux exigences de la pratique, rien ne la justifie, comme le fait observer de Prony, sous le rapport théorique.

Rapprochons maintenant les deux expressions de la vitesse moyenne :

$$u = -\frac{a_0}{2\,b_0} + \sqrt{\frac{a^2_0}{4b^2_0} + \frac{\mathrm{R}\,i}{2b_0}} + \frac{3}{7}\sqrt{\frac{2}{9\varepsilon}}\sqrt{\mathrm{R}\,i},$$

$$u = -\frac{m\,a_0}{2\,b_0} + m\sqrt{\frac{a^2_0}{4b^2_0} + \frac{\mathrm{R}\,i}{2b_0}},$$

la première donnant l'expression théorique et la seconde l'expression empirique approchée de la vitesse moyenne, et voyons dans quelles conditions ces deux expressions doivent converger vers une forme identique, et finir même par la présenter.

Cela arrivera toutes les fois que le terme sous le radical $\frac{a^2_0}{4b^2_0}$ pourra, sans erreur notable, être négligé en présence du second terme $\frac{\mathrm{R}\,i}{2b_0}$; or cette circonstance se présentera fréquemment, parce que le coefficient de la première puissance est toujours beaucoup plus petit que celui de la seconde puissance de la vitesse : on sait, par exemple, que dans la formule de Prony le rapport de ces coefficients est, en ce qui concerne la vitesse moyenne, égal à 0,05.

Or, dans le cas où la suppression du premier terme sous le radical peut être opérée, les deux équations précédentes se réduisent à celles qui suivent :

$$u = -\frac{a_0}{2\,b_0} + \left(1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right)\sqrt{\frac{\mathrm{R}\,i}{2b_0}},$$

$$u = -\frac{m a_0}{2\,b_0} + m\sqrt{\frac{\mathrm{R}\,i}{2b_0}},$$

expressions de même forme, et d'où l'on peut déduire, par l'élimination de u, le rapport m existant entre les vitesses moyenne et à la paroi. Sa valeur est

$$m = \frac{-\frac{a_0}{2b_0} + \left(1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right)\sqrt{\frac{\mathrm{R}\,i}{2b_0}}}{-\frac{a_0}{2b_0} + \sqrt{\frac{\mathrm{R}\,i}{2b_0}}}$$

laquelle ne prendrait la forme suivante, qui donne à m une valeur constante,

$$m = 1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}},$$

que dans l'hypothèse où $a_0 = 0$; c'est-à-dire lorsque l'on admet que les phénomènes de l'écoulement de l'eau dans les tuyaux peuvent être représentés par les formules monômes :

$$\frac{\mathrm{R}\,i}{2} = b_0 w^2, \qquad \frac{\mathrm{R}\,i}{2} = b_1 u^2,$$

w et u étant la vitesse à la paroi et la vitesse moyenne.

On a dans ce cas, comme il a été déjà dit,

$$u = \left(1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right) w.$$

Je vais montrer maintenant que l'équation d'équilibre

$$-\varepsilon \frac{dv}{dr} = \frac{ri}{2},$$

fondée sur l'hypothèse de M. Navier, ne saurait conduire à l'expression de la vitesse moyenne consacrée par l'expérience, et qu'ainsi elle ne supporte pas la vérification *a posteriori*, à laquelle au contraire répond convenablement l'équation nouvelle

$$\varepsilon \mathrm{R}^4 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2}.$$

On tire de l'équation

$$-\varepsilon \frac{dv}{dr} = \frac{ri}{2},$$

$$v = -\frac{r^2 i}{4\varepsilon} + \mathrm{C},$$

ou en appelant V la vitesse maximum,

$$v = \mathrm{V} - \frac{r^2 i}{4\varepsilon},$$

et pour la relation entre la vitesse maximum V et celle à la paroi w,

$$V - w = \frac{R^2 i}{4\varepsilon}.$$

On a d'ailleurs dans cette hypothèse, entre la vitesse moyenne, la vitesse maximum et la vitesse à la paroi, la relation

$$u = \frac{V + w}{2}$$

et par conséquent

$$V - u = \frac{R^2 i}{8\varepsilon},$$

d'où il suit que, d'après l'hypothèse de M. Navier, la différence entre les vitesses maximum et moyenne serait proportionnelle au produit du carré du rayon moyen par la pente.

Or, l'expérience donne, en supposant le frottement simplement proportionnel au carré de la vitesse,

$$V = \alpha' \sqrt{\frac{R\,i}{2}}$$

$$u = \alpha \sqrt{\frac{R\,i}{2}}$$

d'où :

$$V - u = (\alpha' - \alpha) \sqrt{\frac{R\,i}{2}}$$

résultat tout à fait différent de celui auquel l'hypothèse de M. Navier vient de nous conduire.

Si nous voulons maintenant obtenir les valeurs de V et de u dans cette même hypothèse, il sera nécessaire de poser l'équation de la vitesse à la paroi $b_1 w^2 = \frac{R\,i}{2}$, laquelle, combinée avec l'équation $V - w = \frac{R^2 i}{4\varepsilon}$, permettra d'arriver aux valeurs suivantes de w et V :

$$w = \sqrt{\frac{R\,i}{2b_1}},$$

$$V = \sqrt{\frac{R\,i}{2b_1}} + \frac{R^2 i}{4\varepsilon}.$$

d'où enfin

$$u = \frac{V + w}{2} = \frac{R^2 i}{8 \varepsilon} + \sqrt{\frac{R i}{2 b_1}}$$

au lieu de

$$u = \alpha \sqrt{\frac{R i}{2}}.$$

Ces rapprochements suffisent, ce me semble, pour démontrer la nécessité de substituer de nouvelles hypothèses à celles adoptées par M. Navier; mais, ainsi que je l'ai déjà dit, je ne dois qu'à l'expérience la connaissance de l'équation d'équilibre

$$\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2},$$

et, bien que cette expression soit assez simple, il ne m'a point été donné de pénétrer la raison philosophique de son existence.

Sans doute, il n'est pas difficile d'admettre que la résistance éprouvée par un filet fluide soit proportionnelle à $\left(\frac{dv}{dr}\right)^2$ au lieu de l'être à $\frac{dv}{dr}$, ainsi que le suppose M. Navier, sans preuve à l'appui; il est possible même que cette résistance soit représentée par un binôme comprenant la première et la seconde puissance de $\frac{dv}{dr}$. On verra tout à l'heure les motifs qui justifient cette assertion. Il est plus difficile, il faut en convenir, de se rendre compte de l'intervention du rayon du tuyau dans l'équation d'équilibre, avec l'hypothèse du mouvement du liquide par filets s'avançant régulièrement et parallèlement entre eux.

Cependant, l'expérience a décidé que la grandeur de la section devait jouer un rôle dans l'équation d'équilibre; il est donc nécessaire d'admettre que le mouvement du fluide absorbe une certaine portion de travail qui n'est plus mesurée par le carré de l'inclinaison des tangentes de la courbe des vitesses.

Entrons dans quelques explications à ce sujet:

L'hypothèse du mouvement de l'eau s'écoulant par filets paral-

lèles et conservant entre eux leur indépendance est une abstraction pure; elle semble entièrement incompatible, d'une part, avec l'extrême mobilité des molécules fluides et, d'autre part, avec la viscosité qui relie ces dernières entre elles : une pareille hypothèse a pour résultat d'assimiler l'avancement relatif des diverses couches animées de la même vitesse, dans un tuyau, au développement graduel des divers tubes concentriques qui composent une lunette. Or, cette assimilation est sans vérité, et la formule algébrique qui reposait sur cette hypothèse unique ne pouvait représenter les faits observés, soit que l'on prît pour expression de la résistance due à la vitesse relative des couches $\varepsilon \frac{dv}{dr}$, comme M. Navier, ou $\varepsilon \left(\frac{dv}{dr}\right)^2$ et même $\varepsilon_1 \frac{dv}{dr} + \varepsilon \left(\frac{dv}{dr}\right)^2$.

Ces expressions, en effet, ne concernent que le mouvement de translation des couches en contact; or ce mouvement ne peut être le seul qui anime les particules fluides du volume d'eau que le tuyau mène.

Et d'abord dans la couche en contact avec les aspérités de la paroi doivent se former des tourbillons qui se communiquent de proche en proche en s'affaiblissant; ensuite chaque filet a sa vitesse propre et deux filets contigus présentent toujours une différence dans leurs vitesses; le plus rapide, conséquence de la viscosité, tend à entraîner son voisin, et ce dernier réagit contre cette action. Dans cette lutte, et à raison de la mobilité des particules fluides, il paraît impossible de se refuser à admettre la naissance de mouvements giratoires par groupements moléculaires.

Or, les diverses expressions posées ci-dessus comme mesure de la résistance engendrée par l'avancement relatif des filets ne tiennent aucun compte de ces mouvements giratoires; ces derniers cependant doivent absorber une certaine portion de *travail que la* formule de M. Navier laisse échapper, et que les expressions de la résistance que je propose de leur substituer laisseraient échapper comme elle, sans le facteur que l'expérience m'a révélé pour les compléter, au moins approximativement.

En effet, ni l'expression $\frac{dv}{dr}$ adoptée par M. Navier, comme proportionnelle à la résistance engendrée par les couches glissant les unes sur les autres, ni l'expression $\left(\frac{dv}{dr}\right)^2$ ne conduiraient aux valeurs empiriques de la vitesse moyenne et de la vitesse maximum; et si l'on remarque, par exemple, que de l'hypothèse de M. Navier résulterait cette conséquence, précédemment indiquée, que la différence entre ces vitesses croîtrait proportionnellement à $R^2 i$ au lieu de grandir simplement comme $\sqrt{R i}$, ainsi qu'il résulte de l'expérience, on est en droit de conclure qu'il y a, dans cette hypothèse, une perte de travail que l'on n'a point prise en considération, ou même une résistance qui n'a pas été assez évaluée, puisque l'accroissement de la différence $V - u$, déduit des formules, est plus rapide qu'il ne devrait l'être.

Or, j'inclinerais à penser que le terme $\frac{dv}{dr}$ donne lieu à *cette résistance trop peu évaluée*, $\frac{dv}{dr}$ devant être remplacé par $\left(\frac{dv}{dr}\right)^2$; quant à la perte de travail dont il n'a pas été tenu compte, pourquoi ne résulterait-elle pas des mouvements giratoires des groupements moléculaires; et pourquoi ces mouvements ne dépendraient-ils pas eux-mêmes de la grandeur absolue de la section?

Comment se fait-il maintenant que la formule se complète et permette d'arriver aux expressions empiriques connues, en multipliant le terme $\varepsilon\left(\frac{dv}{dr}\right)^2$, que je substitue à celui $\varepsilon\,\frac{dv}{dr}$ résultant de l'hypothèse de M. Navier, par le carré du rayon ou R^2? Comment se fait-il qu'en prenant l'expression $\frac{dv}{dr}$, qui s'applique aux vitesses très-faibles et aux tuyaux de petits rayons, on parvienne également à représenter les phénomènes en multipliant $\frac{dv}{dr}$ par R?

Je l'ignore encore, mais ce sont là des faits qu'il faut bien admettre et qui prouvent, irrésistiblement, que la grandeur absolue de la section a une influence positive sur la résistance totale qui

prend naissance dans la marche inégale des diverses couches fluides superposées.

Plusieurs phénomènes hydrauliques ne semblent-ils pas, d'ailleurs, venir à l'appui de cette supposition?

Ne voit-on pas, en effet, les mouvements oscillatoires des colonnes piézométriques qui mesurent les pressions exercées en un point déterminé des conduites, grandir, non-seulement avec la vitesse du liquide, mais encore avec le diamètre des tuyaux? Ne voit-on pas le même phénomène se produire en plaçant la branche horizontale du tube de Pitot dans des courants plus ou moins rapides, ou d'une section plus ou moins grande, mais animés de vitesses égales? Ne remarque-t-on pas dans les canaux découverts les ondulations qui courent à la surface se prononcer davantage avec l'accroissement de la section et diminuer avec la vitesse? Sous ce dernier rapport j'ai fait une observation qui n'est pas sans intérêt : je voyais constamment ces ondulations s'affaiblir en même temps que la rugosité de la paroi augmentait, c'est-à-dire avec la diminution de la vitesse; la rugosité n'était donc pas la cause déterminante des ondulations qui paraissent dépendre principalement de la vitesse moyenne, ou bien encore de la flèche de la courbe des vitesses, flèche dont l'expression est

$$V - w = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\sqrt{\frac{Ri}{2b_1}} = \frac{\sqrt{2Ri}}{3\sqrt{\varepsilon}},$$

et qui grandit, par conséquent, proportionnellement à la vitesse moyenne.

D'où peuvent naître ces mouvements ondulatoires et oscillatoires qui n'ont échappé à l'œil d'aucun observateur? Ne pourrait-on pas leur assigner comme cause première ces mouvements giratoires des groupements moléculaires que les différences de vitesse des filets doivent déterminer, et n'y aurait-il pas dans tous ces mouvements divers que l'on rapporterait ainsi à une cause unique, je suis loin de dire une raison précise, mais une raison suffisamment plausible de l'intervention de la grandeur absolue de la section dans l'équation d'équilibre?

Je n'ai point parlé des mouvements obliques du fluide, mouvements qui sembleraient accusés par les corps en suspension, lesquels se dirigent, en général, vers les points animés d'une vitesse plus grande; l'explication de ce phénomène, en effet, peut résulter, ainsi que plusieurs hydrauliciens l'ont fait observer, des différences de pressions auxquelles ces corps sont assujettis et non d'un mouvement particulier du fluide. Je ne crois pas qu'en général ce phénomène puisse indiquer un afflux réel des particules fluides vers les points du plus grand débit; on ne saurait lui assigner pour cause l'alimentation des filets doués d'une vitesse supérieure. De quelle façon, en effet, dans cette hypothèse, les molécules enlevées aux filets doués de moindre vitesse pourraient-elles être remplacées? C'est vers l'origine du tuyau que le mouvement paraît se régler, et que chaque filet prend la vitesse qui lui est propre.

Dans les premiers mètres le mouvement semble désordonné, tumultueux; tous les filets doivent sortir du réservoir avec des vitesses à peu près égales, soumis qu'ils sont tous à une pression peu différente dans le réservoir; bientôt les résistances à la paroi font ressentir leur influence, la vitesse des filets augmente avec leur rapprochement de l'axe du tuyau, et l'appel des molécules nécessaires à la dépense de chaque filet est réglé par les vitesses qu'ils prennent à la naissance définitive du régime uniforme. Il semblerait ainsi que chaque filet exerce dans le milieu d'où il émane une sorte de succion proportionnée à sa vitesse. Ce ne sont point, en effet, des différences de pression qui font naître les différences de vitesse, puisque tous les filets sont soumis à la pression unique accusée par le piézomètre placé à l'origine du tuyau.

Pourquoi ne se passerait-il pas là un effet analogue à celui que j'ai plusieurs fois constaté, lorsque je supprimais brusquement une portion de la hauteur qui mettait un tuyau en charge : le mouvement se continuait longtemps avec une vitesse supérieure à celle due à la nouvelle charge; ce n'était plus dans ce cas le ré-

servoir qui fonctionnait seul, la vitesse ancienne et non encore amortie du fluide ajoutait à son action en produisant une succion sur l'eau du réservoir : succion au reste que j'ai directement constatée ainsi qu'on l'a vu page 89.

Sans doute, je n'ai pas eu la prétention, dans les lignes précédentes, de rendre compte des mouvements en apparence si compliqués que présente un fluide en s'écoulant, mouvements qui doivent être assujettis cependant à des lois fixes et mathématiques dont on découvrira peut-être un jour l'expression algébrique sous le désordre apparent qui les voile; mais, dans l'impossibilité où j'étais de préciser philosophiquement la raison de l'intervention de la grandeur absolue de la section du tuyau dans l'équation d'équilibre, j'ai voulu au moins essayer de faire entrevoir la nécessité de cette intervention, et de montrer en outre que l'expérience désavoue les lois algébriques essayées pour l'écoulement des fluides, lorsqu'on n'introduisait pas, dans les équations du mouvement par filets parallèles, la grandeur absolue de la section du tuyau.

J'ai dit plus haut qu'il était possible que la résistance éprouvée par un filet fluide dépassant le filet voisin fût représentée par une expression de la forme

$$\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr} + \varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2.$$

Ce binôme se réduisant au second terme quand $\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr}$ peut être négligé devant $\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2$, et au premier quand $\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2$ peut disparaître devant $\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr}$, de même que l'expression générale du frottement de l'eau contre les parois

$$a_1 w + b_1 w^2,$$

tantôt se réduit à $b_1 w^2$ et tantôt à $a_1 w$, comme nous l'avons successivement constaté dans les expériences précédemment relatées.

Nous avons vu que l'expression de la résistance des filets $\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2$

correspondait à la première hypothèse : l'expression $\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr}$ correspond-elle aussi bien à la seconde ?

Nous avons trouvé que dans ce cas la vitesse moyenne du tuyau résultait de la relation

$$u = \frac{R}{2 a_1} i.$$

Voyons si nous tirerons une même valeur pour la vitesse moyenne de la relation

$$-\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr} = \frac{ri}{2}.$$

On en déduit, en appelant V et w les vitesses maximum et à la paroi, et v une vitesse quelconque,

$$V - v = \frac{r^2}{4R\varepsilon_1} i,$$

$$V - w = \frac{R}{4\varepsilon_1} i,$$

$$\frac{V-v}{V-w} = \frac{r^2}{R^2},$$

d'où, pour la vitesse moyenne,

$$\pi R^2 u = \int_R^0 \left[V - (V-w)\frac{r^2}{R^2}\right] 2\pi r dr,$$

d'où

$$u = \frac{V+w}{2}.$$

Or, nous avons déjà entre V et w la relation

$$V - w = \frac{Ri}{4\varepsilon_1},$$

de plus, on peut poser pour la vitesse à la paroi l'équation suivante qui résulte de notre hypothèse même,

$$a_1 w = \frac{Ri}{2},$$

donc

$$V = \frac{Ri}{2a_0} + \frac{Ri}{4\varepsilon_1},$$

donc enfin

$$u = \frac{\frac{2Ri}{2a_0} + \frac{Ri}{4\varepsilon_1}}{2} = \frac{Ri}{2}\left(\frac{1}{a_0} + \frac{1}{4\varepsilon_1}\right),$$

expression de même forme que celle qui nous a été donnée par l'expérience.

On tirerait de là, pour la relation existant entre le coefficient de la vitesse moyenne et celui de la vitesse à la paroi,

$$\frac{1}{a_1} = \frac{1}{a_0} + \frac{1}{4\varepsilon_1}, \quad \text{d'où} \quad a_1 = 4\,\frac{a_0\varepsilon_1}{a_0 + 4\varepsilon_1} \quad \text{et} \quad a_0 = 4\,\frac{a_1\varepsilon_1}{4\varepsilon_1 - a_1}.$$

Quant au rapport de la vitesse moyenne à la vitesse maximum, il est donné par l'expression

$$\frac{u}{V} = \frac{\frac{1}{a_0} + \frac{1}{4\varepsilon_1}}{\frac{1}{a_0} + \frac{1}{2\varepsilon_1}} = \frac{1}{2}\,\frac{4\varepsilon_1 + a_0}{2\varepsilon_1 + a_0}.$$

L'hypothèse de M. Navier aurait conduit aux valeurs suivantes pour la vitesse maximum et pour la vitesse moyenne :

$$V = \frac{Ri}{2a_0} + \frac{R^2 i}{4\varepsilon} = \frac{Ri}{2}\left(\frac{1}{a_0} + \frac{R}{2\varepsilon}\right),$$

$$u = \frac{Ri}{2a_0} + \frac{R^2 i}{8\varepsilon} = \frac{Ri}{2}\left(\frac{1}{a_0} + \frac{R}{4\varepsilon}\right),$$

d'où, pour le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse maximum,

$$\frac{u}{V} = \frac{1}{2}\left(\frac{a_0 + 4\frac{\varepsilon}{R}}{a_0 + 2\frac{\varepsilon}{R}}\right),$$

équations qui ne s'accordent pas davantage avec les faits observés.

On voit donc que tout concourt à prouver l'influence de la grandeur absolue de la section sur la résistance, et, par consé-

quent, à justifier l'expression que nous avons posée :

$$\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2}.$$

Nous terminerons ces considérations en recherchant ce que deviendrait l'expression générale de la vitesse maximum et de la vitesse moyenne en fonction de la vitesse à la paroi, dans le cas où l'on donnerait à la résistance la forme que nous avons précédemment indiquée

$$\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr} + \varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2,$$

laquelle paraît résulter de cette double circonstance que, lorsque le rayon du tuyau est grand et la courbe des vitesses suffisamment prononcée, l'expression de la résistance se mesure par la fonction $\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2$, tandis qu'elle se réduit au monôme $\varepsilon R \frac{dv}{dr}$ lorsque le rayon est petit et que la courbe des vitesses a peu de flèche.

On peut donc en induire que la formule qui embrasserait les deux cas, serait le binôme ci-dessus posé.

Nous avons vu qu'à la paroi on avait dans le cas le plus général

$$a_0 w + b_0 w^2 = \frac{Ri}{2},$$

d'où

$$w = -\frac{a_0}{2 b_0} + \sqrt{\frac{a_0^2}{4 b_0^2} + \frac{Ri}{2 b_0}},$$

de plus, l'équation de la courbe des vitesses est, dans l'hypothèse précitée,

$$2\pi r \left[\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr} + \varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2\right] = \pi r^2 i,$$

d'où

$$\varepsilon_1 R \frac{dv}{dr} + \varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2},$$

on en déduit, en remarquant que le coefficient de $\frac{dv}{dr}$ doit être pris avec le signe — puisque v croît quand r diminue,

$$\frac{dv}{dr} = \frac{\varepsilon_1}{2\varepsilon R} - \sqrt{\frac{\varepsilon_1^2}{4\varepsilon R^2} + \frac{ri}{2\varepsilon R^2}},$$

R étant le rayon du tuyau, r le rayon d'un cylindre liquide quelconque.

L'intégration de cette équation donne

$$v = \frac{\varepsilon_1 r}{2\varepsilon R} - \frac{2}{3}\frac{1}{4\varepsilon^2 R i}(\varepsilon^2_1 + 2\varepsilon r i)^{\frac{3}{2}} + c.$$

Lorsque $r = 0$, v devient la vitesse maximum ou la vitesse au centre, on a donc

$$V = -\frac{\varepsilon^3_1}{6\varepsilon^2 R i} + c,$$

d'où

$$v = V + \frac{\varepsilon_1}{2\varepsilon R}\left(r + \frac{1}{3}\frac{\varepsilon^2_1}{\varepsilon i}\right) - \frac{1}{6\varepsilon^2 R i}(\varepsilon^2_1 + 2\varepsilon r i)^{\frac{3}{2}}.$$

Lorsque $r = R$, v devient w ou la vitesse à la paroi et l'on a entre w et V la relation

$$w = V + \frac{\varepsilon_1}{2\varepsilon R}\left(R + \frac{1}{3}\frac{\varepsilon^2_1}{\varepsilon i}\right) - \frac{1}{6\varepsilon^2 R i}(\varepsilon^2_1 + 2\varepsilon R i)^{\frac{3}{2}}.$$

Lorsque $\varepsilon_1 = 0$, ou que l'expression de la résistance prend la forme monôme $\varepsilon R^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2$, les équations précédentes se réduisent : la première à

$$v = V - \frac{\sqrt{2}}{3\sqrt{\varepsilon}}\frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} i^{\frac{1}{2}},$$

la seconde à

$$w = V - \frac{\sqrt{2}}{3\sqrt{\varepsilon}}\sqrt{Ri},$$

expressions déjà trouvées.

La valeur de la vitesse moyenne en fonction de la vitesse maximum résultera de l'équation

$$\pi R^2 u = \int_R^0 \left[V + \frac{\varepsilon_1}{2\varepsilon R}\left(r + \frac{1}{3}\frac{\varepsilon^2_1}{\varepsilon i}\right) - \frac{1}{6\varepsilon^2 R i}(\varepsilon_1^2 + 2\varepsilon r i)^{\frac{3}{2}}\right] 2\pi r dr,$$

laquelle, intégrée entre les limites o et R, conduit à la suivante:

$$u = V + \frac{\varepsilon_1}{3\varepsilon R}\left(R + \frac{\varepsilon_1^2}{2\varepsilon i}\right) - \frac{(\varepsilon_1^2 + 2\varepsilon R i)^{\frac{5}{2}}}{6\varepsilon^4 R^2 i^2}\left[\frac{1}{7}(\varepsilon_1^2 + 2\varepsilon i R) - \frac{\varepsilon_1^2}{5}\right] - \frac{\varepsilon_1^5}{105\varepsilon^4 i^2 R^2},$$

lorsque $\varepsilon_1 = 0$, elle se réduit, comme cela devait être, à

$$u = V - \frac{4}{7}\frac{\sqrt{2Ri}}{3\sqrt{\varepsilon}}$$

On a donc, en définitive, pour les valeurs de la vitesse maximum et de la vitesse moyenne exprimées en fonction des coefficients de la résistance à la paroi, et des actions intérieures,

$$V = \left(\frac{a_0^2}{4b_0^2} + \frac{Ri}{2b_0}\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{6\varepsilon^2 R i}(\varepsilon_1^2 + 2\varepsilon R i)^{\frac{3}{2}} - \frac{a_0}{2b_0} - \frac{\varepsilon_1}{2\varepsilon R}\left(R + \frac{1}{3}\frac{\varepsilon_1^2}{\varepsilon i}\right)$$

$$u = \left(\frac{a_0^2}{4b_0^2} + \frac{Ri}{2b_0}\right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{6\varepsilon^2 R i}(\varepsilon_1^2 + 2\varepsilon R i)^{\frac{3}{2}} - \frac{a_0}{2b_0}$$

$$- \frac{(\varepsilon_1^2 + 2\varepsilon i R)^{\frac{5}{2}}}{6\varepsilon^4 i^2 R^2}\left[\frac{1}{7}(\varepsilon_1^2 + 2\varepsilon i R) - \frac{\varepsilon_1^2}{5}\right] - \frac{1}{105 R^2 i^2}\frac{\varepsilon_1^5}{\varepsilon^4} - \frac{1}{6}\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon},$$

expressions beaucoup trop compliquées pour qu'il soit possible de songer à en faire usage dans la pratique, mais qui justifient complétement cette réflexion de Prony (page 79 des *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes*):

« Quelque satisfaisant que soit l'accord entre la formule de l'article 196 (il s'agit de l'expression de la vitesse moyenne), je dois cependant faire remarquer une circonstance qui peut faire regarder cette formule comme une simple règle de calcul empirique, et qui tient à ce que les observations semblent indiquer qu'on peut déterminer u et V (vitesse moyenne et vitesse maximum) indépendamment de la figure, de la grandeur, de la pente, etc. du canal; elle n'en tient aucun compte. Il est cependant difficile de se persuader que ces divers éléments n'aient aucune influence sur les relations entre V, w et u, mais il fallait pourvoir d'abord aux besoins de la pratique par des règles suffi-

samment exactes pour les cas qu'elle a à traiter; et la recherche des lois générales et rigoureuses auxquelles les phénomènes sont assujettis, offre encore un problème où les géomètres et les physiciens trouveront à s'exercer sur des objets dignes de leur attention et de leur intérêt. »

Si maintenant nous faisons successivement dans les deux équations précédentes

$$\varepsilon_1 = 0;$$

$$a_0 = 0,\ \varepsilon_1 = 0,$$

nous trouverons pour les valeurs de V et de *u*:

1° $$V = -\frac{a_0}{2b_0} + \sqrt{\frac{a_0^2}{4b_0^2} + \frac{Ri}{2b_0}} + \sqrt{\frac{2Ri}{9\varepsilon}},$$

$$u = -\frac{a_0}{2b_0} + \sqrt{\frac{a_0^2}{4b_0^2} + \frac{Ri}{2b_0}} + \frac{1}{7}\sqrt{\frac{2Ri}{\varepsilon}},$$

2° $$V = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\left(1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right),$$

$$u = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\left(1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right),$$

expressions auxquelles nous sommes déjà parvenus directement dans les hypothèses précitées.

On a vu, par la discussion précédente, que l'hypothèse faite par M. Navier pour représenter les actions mutuelles des filets fluides ne permettait pas d'arriver aux lois empiriques que l'expérience a révélées en ce qui concerne les relations qui lient les vitesses maximum et moyenne au rayon moyen et à la pente du tuyau, relations d'où l'on peut déduire l'expression suivante, dans l'hypothèse où l'on ne conserve que le terme où la vitesse est élevée au carré pour représenter les résistances à la paroi,

$$V - u = \alpha\sqrt{Ri},$$

V étant la vitesse maximum, u la vitesse moyenne, R et i le rayon et la pente du tuyau.

On a vu, de plus, comment j'étais parvenu à représenter ces actions mutuelles par une fonction qui m'a permis au contraire de retrouver les formules consacrées par l'expérience; mais il est possible, ainsi que me l'a fait observer M. l'ingénieur Bazin, au lieu de justifier *a posteriori* mon opinion, de trouver directement la valeur des exposants indéterminés de l'expression

$$c\,\mathrm{R}^m \left(\frac{dv}{dr}\right)^n = \frac{ri}{2},$$

ou de l'équation d'équilibre du cylindre fluide du rayon r, de manière à satisfaire à la relation nécessaire

$$v - u = \alpha \sqrt{\mathrm{R}\,i}.$$

Extrayant, en effet, la racine $n^{\text{ème}}$, il viendra

$$-\,\mathrm{R}^{\frac{m}{n}} \frac{dv}{dr} = \frac{1}{\sqrt[n]{2c}}\, r i^{\frac{1}{n}}$$

(v croissant lorsque r décroît, le coefficient différentiel $\frac{dv}{dr}$ doit être pris avec le signe —). Intégrant maintenant cette expression, on aura

$$-\,\mathrm{R}^{\frac{m}{n}}\, v = c_0 + \frac{n}{n+1} \cdot \frac{1}{\sqrt[n]{2c}} \cdot i^{\frac{1}{n}} \cdot r^{\frac{n+1}{n}}.$$

Lorsque $r = 0$, v devient la vitesse au centre ou V; donc $c_0 = -\,\mathrm{R}^{\frac{m}{n}}\,\mathrm{V}$, d'où

$$\mathrm{R}^{\frac{m}{n}}\,(\mathrm{V} - v) = \frac{n}{n+1}\, \frac{1}{\sqrt[n]{2c}} \cdot i^{\frac{1}{n}} \cdot r^{\frac{n+1}{n}}.$$

Donnant à r la valeur $\mu\,\mathrm{R}$ qui convient à la vitesse moyenne u, il viendra

$$\mathrm{R}^{\frac{m}{n}}\,(\mathrm{V} - u) = \frac{n}{n+1}\, \frac{\mu^{\frac{n+1}{n}}}{\sqrt[n]{2c}} \cdot i^{\frac{1}{n}} \cdot \mathrm{R}^{\frac{n+1}{n}},$$

d'où

$$\mathrm{V} - u = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{\mu^{\frac{n+1}{n}}}{\sqrt[n]{2c}} \cdot i^{\frac{1}{n}} \cdot \mathrm{R}^{\frac{n+1-m}{n}}.$$

Or, maintenant, pour que cette expression soit identique à la relation précédemment posée

$$\mathrm{V} - u = \alpha \sqrt{\mathrm{R}\, i},$$

il faut que l'on ait

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{2}, \quad \frac{n+1-m}{n} = \frac{1}{2},$$

d'où

$$n = 2, \quad m = 2,$$

d'où enfin

$$c\, \mathrm{R}^2 \left(\frac{dv}{dr}\right)^2 = \frac{ri}{2},$$

équation, comme on se le rappelle, déduite de nos expériences. Si, au lieu de partir de la relation expérimentale $\mathrm{V} - u = \alpha\sqrt{\mathrm{R}\, i}$, nous prenons la suivante $\mathrm{V} - u = \alpha\, \mathrm{R}\, i$ qui a lieu pour les très-faibles vitesses dans les tuyaux de très-petits diamètres, on obtiendrait pour déterminer m et n les équations suivantes :

$$\frac{1}{n} = 1, \quad \frac{n+1-m}{n} = 1,$$

d'où

$$n = 1, m = 1;$$

d'où enfin, pour l'équation d'équilibre du cylindre liquide de rayon r,

$$-\, c\, \mathrm{R} \frac{dv}{dr} = \frac{ri}{2}.$$

N'a-t-on pas maintenant le droit de conclure que dans l'équation plus générale

$$c_0\, \mathrm{R}^m \left(\frac{dv}{dr}\right)^n + c_1\, \mathrm{R}^{m_1} \left(\frac{dv}{dr}\right)^{n_1} = \frac{ri}{2},$$

m et n sont égaux à 1, ainsi que m_1 et n_1 à 2, puisque, suivant les

cas considérés, l'un des termes disparaissant devant l'autre, il faut retrouver les expressions monômes précédemment démontrées?

Je me bornerai à ces dernières réflexions, qui me semblent compléter la justification de la formule à laquelle j'ai cru devoir recourir pour exprimer la vitesse relative des filets fluides dans un tuyau; j'insisterai d'ailleurs sur cette circonstance, que les équations de condition ne donnant jamais $m = 0$, apportent la preuve que la grandeur absolue du rayon du tuyau doit intervenir dans l'équation d'équilibre d'où se déduit la courbe des filets fluides.

CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ ET DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE CONTRACTION À L'ENTRÉE DES CONDUITES.

On a vu dans les chapitres précédents :

1° Que la résistance éprouvée par le mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite pouvait être représentée par des expressions de la forme :

$$av + bv^2,$$

ou

$$b_1 v^2,$$

dans lesquelles a et b ou b_1 variaient suivant des lois données par les formules

$$a = 0{,}000.031.635 + \frac{0{,}000.000.003.755.6}{R^2},$$

$$b = 0{,}000.442.939 + \frac{0{,}000.006.201}{R},$$

$$b_1 = 0{,}000.51 + \frac{0{,}000.0065}{R};$$

2° Que l'expression $av + bv^2$ s'appliquait plus spécialement

aux tuyaux avec parois lisses, et que le rapport de a et b grandissait avec le degré de poli des parois.

Au contraire, que pour les tuyaux recouverts de dépôts ou lorsque la vitesse devenait grande, c'était à l'expression $b_1 v^2$ qu'il convenait de recourir, les résistances comprises dans le premier terme disparaissant en présence de celles auxquelles le second terme se rapporte.

3° On a remarqué que ces lois semblaient disparaitre dans les tuyaux de très-faibles diamètres à parois lisses, et pour des vitesses qui ne dépassaient pas 9 à 10 centimètres par seconde; qu'alors, et dans cet intervalle et dans ces conditions, la vitesse du liquide dans le tuyau grandissait suivant une ligne droite dont les ordonnées croissaient proportionnellement aux pentes.

4° Il a été établi que toutes ces lois étaient indépendantes des pressions exercées dans les tuyaux.

5° On est arrivé expérimentalement à une formule (dont j'ai cherché à légitimer théoriquement l'existence) pour exprimer la loi des vitesses relatives des filets fluides dans une même section normale à l'axe du tuyau; cette expression,

$$V - v = 11{,}30 \frac{r^{\frac{3}{2}}}{R} \sqrt{i},$$

dans laquelle V donne la vitesse au centre et v une vitesse quelconque à la distance r de l'axe, a permis de trouver la valeur de la vitesse moyenne en fonction des vitesses à la paroi et au centre, ou

$$u = \frac{3V + 4w}{7}$$

et la distance à laquelle elle est située de l'axe du tuyau.

Cette relation a donné encore les moyens d'obtenir l'expression générale de la vitesse à la paroi, dans l'hypothèse de la relation suivante entre la vitesse moyenne et la pente :

$$\frac{Ri}{2} = b_1 u^2.$$

cette expression est

$$\frac{Ri}{2} = \frac{49\, b_1}{(7 - 3\,K\sqrt{2\,b_1})^2}\, w^2 = \frac{49\, b_1}{\left(7 - 2\sqrt{\frac{b_1}{2}}\right)^2}\, w^2 \text{ [1]},$$

dans laquelle w représente la vitesse à la paroi, quant à la vitesse au centre du tuyau, ou à la vitesse maximum, elle est donnée par la relation

$$V - w = K\sqrt{Ri},$$

d'où résulte

$$V = \left[K + \frac{(7 - 3\,K\sqrt{2\,b_1})}{7\sqrt{2\,b_1}}\right]\sqrt{Ri}$$

d'où résulte, pour le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse au centre,

$$\frac{u}{V} = \frac{7}{7 + 4\,K\sqrt{2\,b_1}}$$

expression en fonction de b_1, c'est-à-dire de l'état des surfaces et du rayon du tuyau, du moins jusqu'à une certaine limite.

On trouverait que ce rapport dépend encore de la pente si l'on conservait la première et la seconde puissance de la vitesse pour mesurer la résistance due aux frottements contre les parois

6° Il paraît résulter de l'expérience que la rugosité des surfaces est sans action appréciable sur la flèche de la courbe des vitesses des filets fluides; que, de plus, une impulsion liquide à l'amont, quelque vive qu'elle soit, n'exerce sur elle aucune influence, mais qu'elle paraît s'allonger sous l'impression d'un accroissement de vitesse à l'aval.

7° Enfin, j'ai obtenu en fonction de la résistance à la paroi et de la cohésion de l'eau :

[1] Il faut se rappeler les observations de la page 171 pour tirer du tableau du quatrième chapitre, page 111, la véritable valeur de b_1 à substituer dans l'expression ci-dessus ou dans le coefficient de la résistance à la paroi



1° La vitesse à la paroi,

$$w = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}},$$

2° La vitesse au centre,

$$V = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\left(1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right).$$

3° La vitesse moyenne,

$$u = \sqrt{\frac{Ri}{2b_0}}\left(1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right)$$

4° Le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse au centre.

$$\frac{u}{V} = \frac{1 + \frac{2}{7}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}{1 + \frac{2}{3}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}}$$

On connait la valeur de ε; quant à b_0, on le déduit de l'équation

$$b_0 = \frac{1}{2}\,\frac{49\,b_1}{(7 - 3\,K\sqrt{b_1})^2} = \frac{1}{2}\,\frac{49\,b_1}{\left(7 - \sqrt{2}\sqrt{\frac{b_0}{\varepsilon}}\right)^2}$$

La valeur de K a été donnée, celle de b_1 se trouve dans le tableau de la page 111, chapitre IV.

Il faut bien remarquer que le coefficient b_1 qui résulte de l'expression $b_1 = \frac{Ri}{u^2}$ dépend des perturbations apportées à la vitesse moyenne par les parois.

Ces perturbations auront d'autant plus d'influence que le rayon sera plus petit, d'où la conséquence que b_1 doit varier, comme nous l'avons déjà dit et comme l'expérience l'indique.

D'où il résulte encore que b_0 sera variable jusqu'à ce qu'on arrive à un diamètre assez grand pour que les perturbations relatives ne laissent plus apercevoir de différences dans leurs effets.

Mais si l'on peut admettre sans difficulté que les coefficients de la résistance de la vitesse moyenne prennent des valeurs dif-

férentes suivant le diamètre des tuyaux, à raison de l'influence croissante des résistances à la paroi, lorsque le diamètre diminue, on se rend moins aisément compte des variations éprouvées, d'après la formule précédente, par le coefficient qui exprime les résistances à la paroi.

Aussi j'incline à penser que ces variations ne sont point réelles; en effet, la relation d'où on les déduit suppose implicitement que la loi de distribution des vitesses reste la même, quel que soit le diamètre du tuyau : or, s'il n'en était point ainsi, si cette loi ne devenait permanente qu'à partir du diamètre où les coefficients de la vitesse moyenne sont permanents eux-mêmes; en un mot, si au-dessous de ce diamètre la loi de distribution des vitesses se modifiait de telle sorte que ces dernières tendissent à *s'égaliser*, ou que le rapport de la vitesse à la paroi à la vitesse moyenne prît des valeurs de plus en plus grandes, on comprend que les variations de b_1 ne seraient qu'apparentes, et qu'elles seraient dues à un accroissement relatif de la vitesse à la paroi et non pas à un accroissement réel et absolu de la résistance.

Telles sont les principales conclusions auxquelles je suis arrivé dans les cinq premiers chapitres de ce Mémoire; il reste maintenant à déterminer la valeur du coefficient de contraction m dans l'expression posée dès le premier chapitre,

$$\frac{Ri}{2} = \left(\frac{R}{4Lm^2 g} + b\right) v^2 + av;$$

la détermination de cette quantité complétera, en effet, l'équation générale du mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

Mais, avant d'indiquer les expériences qui ont été exécutées dans ce but, il est peut-être utile d'essayer quelques explications sur les deux autres coefficients, dont la valeur numérique a été précédemment déterminée, et de rechercher le rôle qui leur est assigné.

En d'autres termes, à quelle partie de la résistance correspond le multiplicateur de v^2, à quelle portion le multiplicateur de v?

En remplissant d'eau des tuyaux bien desséchés avec un volume

déterminé, on remarque que le liquide qui sort de ces tuyaux laisse un déficit variable suivant l'état des surfaces.

Il résulte des expériences faites :

1° Que, même dans un tuyau *verticalement placé* et à raison de l'attraction de ses parois, une couche liquide leur reste adhérente.

2° Que l'épaisseur de cette couche est beaucoup trop faible pour faire disparaître les aspérités de la paroi; que d'ailleurs elle doit présenter une épaisseur sensiblement constante et, par conséquent, offrir à la surface le même relief que les parois elles-mêmes.

Sans doute, dans un courant, il ne peut y avoir entre les vitesses de deux filets contigus qu'une différence insensible, mais il ne saurait en être ainsi lorsqu'il s'agit de la couche adhérente; elle est, pour ainsi dire, passée à l'état *d'émail*, d'enduit aqueux de la paroi.

Évidemment, le cylindre fluide qu'elle enveloppera à son passage ne laissera point immobiles les molécules composant la paroi factice; il les animera d'une certaine vitesse de translation, de certains mouvements giratoires, mais elles finiront par s'en détacher avec des différences finies de vitesse et à des distances en rapport avec l'attraction des parois et la cohésion des molécules. Ainsi l'on voit une goutte d'eau qui, d'abord, roulait tout entière sur une plaque métallique, se diviser lorsqu'on augmente la pente, une portion restant attachée à la paroi et l'autre continuant son trajet.

Si donc, d'une part, l'attraction des parois doit être considérée comme une des causes retardatrices du mouvement, on doit reconnaître, d'autre part, que cette cause agit vraisemblablement en grande partie par l'intermédiaire de la cohésion du fluide que la surface extérieure du cylindre mobile doit surmonter.

Cela est d'autant plus plausible que l'on voit la paroi rester mouillée même dans une position verticale.

Ainsi, le mode d'agir de l'attraction des parois semblerait pouvoir se résumer ainsi :

Force nécessaire pour vaincre l'attraction des parois dans les parties où le liquide viendrait à s'en détacher, et force nécessaire pour surmonter la cohésion quand le cylindre liquide passe sur l'enduit aqueux.

Enfin, les aspérités de la surface qui viennent modifier brusquement le mouvement et la direction des filets fluides forment, évidemment, une autre cause retardatrice.

Cherchons maintenant à les classer.

Si l'on a recours à des tuyaux chargés de dépôts, ou si l'on imprime à l'écoulement une grande vitesse, c'est-à-dire si l'on augmente la partie de la résistance qui doit provenir des aspérités, le premier terme en v disparaît, le coefficient de v^2 s'accroît : donc ce dernier est au moins en partie relatif aux aspérités.

Si l'on emploie des tuyaux très-lisses, en plomb, recouverts de bitume vitrifié, etc. le coefficient de v^2 va sans cesse en diminuant au fur et à mesure que le degré de poli augmente.

Mais la diminution cependant est loin de paraître en rapport avec le degré de poli obtenu. En vain dirait-on que l'influence des aspérités insensibles à la vue subsiste pour les molécules fluides, cette explication ne semblerait pas tout à fait satisfaisante.

C'est qu'en effet le terme en v^2 ne parait pas correspondre seulement à la résistance causée par les aspérités, mais aussi à celle que fait éprouver la couche fluide juxtaposée à la paroi.

On a pu, en effet, conclure des considérations énoncées dans le cinquième chapitre que la force nécessaire pour détacher deux molécules fluides en contact était proportionnelle à un binôme, formé de la première et de la seconde puissance de leur vitesse relative.

Ainsi, cette cause retardatrice doit encore entrer en partie dans le terme de la formule affecté du carré de la vitesse.

Et ce terme subsisterait donc, lors même que toute aspérité disparaîtrait, pourvu que les surfaces des parois fussent susceptibles d'être mouillées.

Que reste-t-il pour le premier terme? Évidemment la partie de la résistance représentée par le premier terme du monôme [1].

Une première réflexion se présente. On se demande pourquoi les coefficients de la première puissance de v varient dans les formules spéciales que nous avons calculées pour chaque tuyau, entre de grandes limites et sans loi bien saisissable.

Cela tient à ce que les formules qui ont donné ces coefficients ne sont que des formules d'interpolation dans lesquelles les éléments qui ont peu d'influence sur la représentation des phénomènes généraux sont sacrifiés à ceux qui interviennent avec une grande énergie relative [2].

Ainsi, bien que j'aie cherché à arriver à la proportionnalité des erreurs, comme il n'entrait dans les données qu'un nombre de petites vitesses bien inférieur à celui des grandes, comme de plus elles ne se trouvaient pas en même proportion dans chaque courbe, on conçoit les irrégularités qui sont venues frapper les coefficients de la première puissance.

Pour rendre à ces coefficients leur part légitime, pour trouver en un mot leur valeur véritable, il aurait fallu opérer sur de très-petites vitesses, obtenues sur des parois présentant une surface lisse.

Alors reparaîtraient la vraie valeur et la régularité du coefficient du premier terme.

C'est ce que l'expérience indique; au fur et à mesure que l'on diminue les aspérités et la vitesse, on voit descendre de plus en plus l'origine de la parabole au-dessous de l'axe des y, de manière que la représentation des phénomènes d'écoulement soit due à des arcs de parabole se rapprochant davantage de la ligne droite.

Mais si non-seulement on diminue les aspérités et les vitesses,

[1] La force attractive d'un tuyau paraît s'arrêter, dit de Prony, à la couche fluide qui tapisse la paroi, puisque la diversité des matières présentant le même poli ne fait pas varier la résistance. S'il en était autrement, le premier terme du monôme comprendrait également la résistance due à l'attraction de la paroi.

[2] Cela est tellement vrai que je suis arrivé, pour le coefficient de v, à une valeur négative, dans le tuyau en fonte recouvert de dépôts de $0^m,0359$ de diamètre.

si, de plus, on fait descendre au-dessous d'une certaine limite les diamètres des tuyaux, de telle sorte qu'à des vitesses très-petites correspondent des pentes facilement appréciables, on arrivera à donner au coefficient du premier terme une prépondérance telle, que la loi qu'il représente sortira nette des expériences, le terme en v^2 disparaissant complétement.

Ces assertions sont confirmées par le tableau suivant, dans lequel on a recueilli les expériences faites sur des tuyaux de faibles diamètres et avec de petites charges.

DIAMÈTRE.		NUMÉROS d'ordre.	PENTES i.	VITESSES v.	B $\frac{i}{v}$	OBSERVATIONS.
DIAMÈTRE.	NATURE.					
mèt.			mèt.	mèt.		
0,0112	Fer étiré........	1	0,000,85	0,0344	0,000,15	Voy. planche XII.
		2	0,001,84	0,0718	0,000,156	
		3	0,003,04	0,117	0,000,158	
				Moyenne.....	0,000,155	
0,0266	Fer étiré........	26^a	0,000,2	0,0353	0,000,075,28	Voy. planche XII.
		26^b	0,000,235	0,0383	0,000,088,58	
		26^c	0,000,25	0,0404	0,000,082,19	
		14	0,000,33	0,0578	0,000,075,9	
		26^d	0,000,55	0,086	0,000,080,05	
				Moyenne.....	0,000,081,20	
0,0268	Tôle et bitume...	60	0,000,22	0,03	0,000,098	Voy. pl. VI et XII.
		61	0,000,67	0,092	0,000,097,6	
				Moyenne.....	0,000,097,8	
0,014	Plomb..........	39	0,000,64	0,040	0,000,112	Voy. planche V.
0,027		46	0,000,44	0,065	0,000,091,6	
				Moyenne.....	0,000,101,8	
0,0395	Fer étiré........	27	0,000,22	0,0626	0,000,069,4	Voy. planche V.
0,0359	Fonte recouverte de dépôts........	106	0,000,25	0,051	0,000,088	Voy. planche VI.

Ce tableau me paraît jeter quelque jour sur la question.

Il démontre que :

Lorsque les causes de résistance qui concourent à la formation du terme en v^2 se sont assez affaiblies pour que leur influence disparaisse en présence du premier terme de l'expression de la résistance, cette dernière devient proportionnelle à la vitesse simple du fluide.

Le frottement de l'eau, ou ce qu'on appelle le frottement de l'eau, diffère donc essentiellement de celui des corps solides.

Le second est indépendant de la dimension des surfaces en contact et de la vitesse, et proportionnel à la pression.

Le premier, dans les petites vitesses, est proportionnel aux surfaces en contact et à la vitesse, et indépendant de la pression.

Dans les moyennes vitesses, il devient proportionnel à un binôme composé de la première et de la deuxième puissance de la vitesse.

Dans les grandes vitesses, on peut faire disparaître le premier terme de ce binôme.

Je ne chercherai pas à pousser plus loin la comparaison, mais je dirai seulement qu'en vertu des observations précédentes la cause principale du frottement de l'eau, à l'exception des résistances causées par les aspérités des surfaces, paraît dépendre beaucoup plus de la force nécessaire pour vaincre la cohésion du liquide, que de celle qui, comme dans les corps solides, prend naissance dans le plan de séparation des deux corps en contact.

Pour déterminer le véritable frottement de l'eau, il faudrait qu'elle glissât sans mouiller la surface sur laquelle elle coule.

Le tableau précédent démontre ensuite que le coefficient de la résistance paraît diminuer rapidement avec l'accroissement du diamètre.

Il est en effet dans les tuyaux de fer étiré comparable pour l'état de leurs surfaces.

Diamètres.	Coefficients.
0^{m},0122	0,000.155
0 ,0266	0,000.081
0 ,0395	0,000.069

Ce résultat était nécessaire. L'attraction des parois n'a pour effet d'immobiliser en partie qu'une couche d'épaisseur constante. Or, l'influence de cette couche sur le débit diminue au fur et à mesure que la surface augmente, et même disparaît complétement dans les grands diamètres où le rapport entre l'anneau fixé à la paroi et la surface totale peut être considéré comme infiniment petit.

La loi qui résulterait des expériences précédentes serait donnée par l'expression :

$$a = 0{,}000.028.646.92 + \frac{0{,}000.000.750.885.87}{R}\ [1].$$

[1] Cette expression justifie les réflexions de la page 120 : elle donne le droit d'admettre que le coefficient de la première puissance de la vitesse est de même forme que celui de la seconde puissance de cette même vitesse.

En appelant H la charge, et L la longueur d'un tuyau, l'équation d'où l'on deduit la vitesse moyenne u prendrait donc la forme générale

$$\left(\alpha + \frac{\beta}{R}\right) u^2 + \left(\alpha' + \frac{\beta'}{R}\right) u = R\ \frac{H}{L},$$

qui devient, lorsque la vitesse est très-faible,

$$\left(\alpha_1 + \frac{\beta_1}{R}\right) u = R\ \frac{H}{L}.$$

Remplaçant la vitesse par le volume debité φ, il viendra

$$\varphi \left(\alpha_1 + \frac{\beta_1}{R}\right) = \pi R^2\ \frac{H}{L},$$

d'où, si R est très-petit, α_1 disparaissant en présence de $\frac{\beta_1}{R}$,

$$\varphi = K' R^4\ \frac{H}{L}.$$

On voit encore sur ce tableau qu'en comparant le tuyau en plomb d'un diamètre de $0^m,027$ avec le tuyau en tôle et bitume d'un diamètre de $0^m,0268$ et le tuyau en fer étiré de $0^m,0266$, ce dernier semble présenter un coefficient de résistance un peu moins grand que les deux premiers.

Est-ce à dire que la puissance attractive représentée par la couche au repos serait plus grande dans les deux premiers que dans le troisième?

Je ne le pense pas. Cela peut tenir à quelques irrégularités de mesure des diamètres, mais surtout, je crois, à la cause suivante qui explique le sens de la différence.

La surface du tuyau de $0^m,0266$ était beaucoup plus rugueuse que celle des deux autres; lorsqu'on l'a rempli pour en déterminer la capacité et par suite le diamètre, il a pu rester entre les aspérités, soit des bulles d'air très-divisées, soit des gouttelettes d'eau, bien qu'on eût pris toutes les précautions nécessaires pour le mesurer à sec.

On sait que dans les tuyaux capillaires, M. Poiseuille a trouvé la formule

$$\phi = K D^4 \frac{H}{L},$$

la même que ci-dessus; résultat assez remarquable, puisque nous sommes parvenus, M. Poiseuille et moi, à cette expression, au moyen d'expériences faites dans des circonstances tout à fait différentes.

L'expression générale précédente paraît donc renfermer le lien qui unit les lois de l'écoulement dans un tuyau de diamètre quelconque et dans un tuyau capillaire.

M. Girard avait trouvé qu'au delà d'une certaine longueur d'un tube de petit diamètre, on avait la relation

$$u = K' \frac{D}{L} H.$$

Mais cette expression ne permettait pas d'arriver à la loi de M. Poiseuille : aussi MM. Arago, Babinet, Piobert et Regnault avaient-ils fait remarquer dans leur Rapport (*Comptes rendus*, t. XI, p. 1167) que la formule donnée par M. Girard ne représentait pas dans leur généralité les phénomènes de l'écoulement de l'eau dans les tubes de divers diamètres.

La relation à laquelle je suis parvenu paraît avoir ce résultat.

Son diamètre dans ce cas aurait été coté un peu au-dessous de sa valeur réelle, et, par suite, la vitesse qui résulte de la division du volume expérimental par la surface due au diamètre précédent a pu être un peu augmentée. Cette circonstance tend à expliquer la petite infériorité reconnue pour le coefficient de la résistance dans le tuyau de $0^m,0266$.

On arrive donc à admettre des nombres constants pour les coefficients de la première puissance des tuyaux de même diamètre et d'un degré de poli à peu près semblable.

Lorsqu'on jette les yeux sur le tracé des courbes dont le tableau précédent renferme les éléments, on s'aperçoit que dans les environs de l'origine des coordonnées, près de la vitesse $0^m,08$ ou $0^m,09$, ces courbes ne semblent pas assujetties à cette loi de continuité qui préside ordinairement à la succession des phénomènes naturels découlant d'une loi unique (planche XII).

A partir de l'extrémité de la ligne droite qui passe par l'origine, extrémité qui se rencontre aux abords de la vitesse de $0^m,10$, la ligne s'infléchit assez brusquement pour suivre une courbure parabolique, de telle sorte que la droite semble inscrite à cette dernière.

Il semblerait donc qu'en franchissant la vitesse de $0^m,10$ un fait nouveau se produise, lequel vient porter atteinte à la loi de continuité.

Si, par exemple, on verse une goutte d'eau sur une plaque métallique, sous les premières inclinaisons très-faibles qu'on lui donnera l'eau restera immobile; elle marchera tout entière, en vertu de la cohésion du liquide, sous des inclinaisons un peu plus fortes; puis enfin, elle se divisera plus tard, partie de son volume étant retenue par l'attraction de la plaque, si la vitesse en augmentant encore favorise son déchirement par les aspérités de la surface.

La pente de la plaque varie par des degrés insensibles et pourtant la loi de continuité n'existera pas; il se peut que, dans le phénomène précédent, il se produise quelque chose d'analogue.

Je ne pense pas, en effet, que l'apparition même simultanée des résistances dues aux aspérités et à la cohésion puisse expliquer ce défaut de continuité; car ces résistances ne naissent et ne grandissent que par d'insensibles degrés.

Mais il pourrait arriver que le cylindre liquide qui coule dans le tuyau laissât, à partir d'une certaine vitesse, une couche plus épaisse à la paroi, et si cette couche correspond à la vitesse de 9 ou 10 centimètres, le phénomène signalé sera expliqué.

C'est encore ce qui arrive lorsque l'on fait éprouver un choc à l'extrémité d'un prisme encastré; il se rompt à des distances qui sont de plus en plus éloignées de l'encastrement lorsque l'on accroit la force du choc.

Quoi qu'il en soit, il semble que deux lois apparaissent dans le phénomène produit par l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite et que ces lois, au moins dans les diamètres que j'ai employés, viennent se souder vers les vitesses de 9 à 10 centimètres.

Et, du reste, ces effets disparaissent complétement dans les tuyaux de grand diamètre, parce que les vitesses de 9 à 10 centimètres sont excessivement rapprochées de l'origine des coordonnées.

Je ne dirai plus qu'un mot sur ce sujet, c'est que si l'on voulait avoir avec exactitude des vitesses au-dessous de $0^m,10$ dans les tuyaux de petits diamètres, il faudrait se servir des relations exprimées dans la colonne (3) du tableau de la page 119[1].

Après ces considérations générales sur les variations respectives des deux termes de la résistance, j'arrivais, dans le Mémoire ma-

[1] Pour déterminer aussi approximativement que possible, dans l'équation générale $Ri = av + bv^2$, les coefficients a et b avec les *valeurs relatives* qui leur sont propres, peut-être aurait-on dû prendre pour a les chiffres de la troisième colonne du tableau précité, et déterminer ensuite les valeurs de b au moyen de la méthode des moindres carrés; mais je n'ai point effectué ces calculs, qui ne présentaient aucun intérêt pratique. La formule monôme, en effet, suffit parfaitement pour représenter les phénomènes, et son emploi présente d'ailleurs un avantage notable dans la résolution des problèmes concernant les distributions d'eau.

nuscrit présenté à l'Institut, à la description des expériences ayant pour objet la détermination du coefficient de correction à employer pour tenir compte de la contraction qui s'opère à l'origine des conduites cylindriques.

Ces expériences m'ont conduit à assigner à ce coefficient, pour des tuyaux dont le diamètre a varié depuis $0^m,0364$ jusqu'à $0^m,297$, la valeur moyenne de 0,82 généralement adoptée.

La lecture du Rapport de MM. Poncelet, Combes et Morin m'a montré que je pouvais abréger ce Mémoire en supprimant le récit détaillé de ces expériences, et me borner à consigner leur résultat.

J'ignorais, en effet, que M. le général Poncelet était déjà parvenu à ce coefficient dans des expériences encore inédites faites à Toulouse par le savant académicien.

J'ajouterai d'ailleurs que, mes expériences relatives à la détermination du coefficient de correction précité n'étant pas le but de mon travail et ne s'y rattachant que très-accessoirement, je n'avais pas disposé les appareils de manière à obtenir le degré de précision que j'ai cherché à obtenir dans mes précédentes recherches.

Il y avait d'ailleurs une cause d'erreur inhérente au mode employé, et que je n'avais pas alors la possibilité de corriger.

Je dois entrer dans quelques explications à ce sujet; pour déterminer la hauteur à laquelle était due la vitesse, je prenais la différence existant entre la cote du manomètre n° 5 placé sur le réservoir et celle du manomètre n° 4 ajusté sur le tuyau à quelques centimètres de l'orifice de ce dernier; puis de cette différence je soustrayais, pour arriver à la charge effective, la hauteur absorbée par les frottements dans l'intervalle situé entre l'orifice et le manomètre n° 4.

Pour calculer cette dernière, on considérait les manomètres 4 et 3, et de la différence de leurs cotes divisée par la distance résultait la pente par mètre, qui, multipliée par la longueur de l'intervalle compris entre le manomètre n° 4 et le réservoir, donnait la quantité à retrancher de la différence existant entre les manomètres n° 5 et n° 4.

Le résultat trouvé était la hauteur en vertu de laquelle naissait la vitesse moyenne dans le tuyau.

Or on comprend que cette manière d'opérer pouvait faire naître une objection.

En effet, les manomètres n'indiquent point la charge entière d'une conduite aux points où ils sont ajustés, mais cette charge diminuée d'une certaine hauteur, diminution due à la vitesse du fluide à la base des piézomètres : l'eau, en vertu de sa cohésion, agit en effet sur la colonne manométrique dont elle affaiblit l'élévation.

Lorsque deux piézomètres sont placés à la surface d'un liquide animé de la même vitesse, la succion reste la même et la différence des cotes des deux manomètres donne bien la différence des charges, et telle est la condition dans laquelle j'ai toujours opéré dans les expériences précédemment décrites[1].

Lorsqu'au contraire l'un des manomètres était disposé sur le cylindre-réservoir où la vitesse du fluide était très-faible relativement à celle de l'eau dans la conduite, on voit qu'en pareille circonstance l'*abaissement par succion* du manomètre sur le réservoir devait être moindre que l'*abaissement par succion* du manomètre sur le tuyau; il devait donc y avoir, par ce motif, augmentation dans la hauteur expérimentale due à la vitesse dans le tuyau.

Il y avait dès lors une rectification à faire, mais je n'avais pas à cette époque les moyens de l'effectuer; dans les expériences relatives aux canaux découverts, dont je m'occupe en ce moment, je chercherai à déterminer la loi suivie par ces abaissements, suivant le diamètre de l'orifice en communication avec un courant et suivant la vitesse de ce dernier.

Quoi qu'il en soit, il paraît que dans les circonstances où j'ai opéré la rectification dont il est question elle aurait eu peu d'importance, puisque j'ai obtenu un coefficient qui résulte d'expé-

[1] Voir la note 1 de l'appendice, où j'entre à ce sujet dans des explications détaillées.

riences antérieures aux miennes et dans lesquelles sans doute on avait évité l'inconvénient que je viens de signaler.

Voici, du reste, quelles sont les valeurs déduites, pour le coefficient de correction, de quarante-trois expériences faites sur les tuyaux dont la nomenclature suit :

Diamètres.	Coefficients.	Nombre d'expériences.
0^m,0364	0,83	5
0 ,137	0,79	9
0 ,188	0,83	7
0 ,2432	0,82	8
0 ,2447	0,87	7
0 ,297	0,81	7
		43 [1]

La moyenne générale des coefficients trouvés est donc égale à 0,825, soit 0,82, coefficient généralement adopté.

On a donc enfin, lorsque l'on croit devoir tenir compte de la contraction à l'entrée des conduites, à recourir aux équations suivantes :

1° Formule dans laquelle entrent la 1re et la 2e puissance de la vitesse,

$$Ri = \left(\frac{R}{4 L m^2 g} + b\right) v^2 + av,$$

dans laquelle

$$a = 0{,}000.031.635 + \frac{0{,}000.000.003.755.6}{R^2},$$

$$b = 0{,}000.442.939 + \frac{0{,}000.006.201}{R},$$

$$m = 0{,}82.$$

[1] J'indiquais dans mon Mémoire manuscrit les motifs qui m'ont déterminé à ne présenter que les résultats offerts par ces quarante-trois expériences ; dans les autres conduites le raccordement avec le cylindre-réservoir n'était point effectué dans des conditions qui permissent de compter sur les résultats obtenus en ce qui concernait le coefficient de correction à adopter pour la contraction du fluide à son entrée dans la conduite.

3° Formule dans laquelle entre seulement la seconde puissance de la vitesse,

$$Ri = \left(\frac{R}{4\,L\,m^2 g} + b_1\right) v^2,$$

dans laquelle

$$b_1 = 0{,}000.51 + \frac{0{,}000.006.5}{R},$$

$$m = 0{,}82.$$

La composition de ces deux équations montre d'ailleurs que l'on peut généralement faire disparaître le terme où figure le coefficient $m = 0{,}82$.

Quant à la formule exprimant la vitesse relative des filets fluides, elle est, comme on se rappelle :

$$V - v = K\,\frac{r^{\frac{3}{2}}}{R}\sqrt{i},$$

dans laquelle $K = 11{,}30$.

Ces équations permettent de résoudre, avec les précautions indiquées dans le cours de ce Mémoire, toutes les questions relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

APPENDICE.

NOTE I.

DES MANOMÈTRES OU TUBES PIÉZOMÉTRIQUES.

On a pu faire une observation au sujet du procédé employé pour mesurer les pertes de charge.

Les manomètres expriment-ils en réalité les pressions exercées par un liquide en mouvement et, par conséquent, les différences manométriques donnent-elles bien les pertes de charge dues à la résistance des parois?

La cohésion de l'eau, coulant à la base d'un tube piézométrique, a pour effet de diminuer la hauteur du liquide dans ce dernier, suivant une loi résultant de la vitesse d'écoulement. Je m'occupe en ce moment d'expériences ayant pour objet la détermination de cette loi.

Il faut donc, pour que la différence de deux colonnes piézométriques donne la perte de charge due à la résistance des parois dans l'intervalle que l'on considère, que la vitesse du fluide coulant à la base des piézomètres soit la même; circonstance qui se présentait nécessairement dans mes expériences sur les tuyaux de conduite, puisque le tuyau avait un diamètre uniforme; la vitesse à la paroi était la même sur tout son développement, l'espèce de succion qui s'exerce à la base des piézomètres ne pouvait donc pas altérer les résultats.

Mais il est très-important que toute saillie soit évitée : si elle existe à l'aval de l'orifice, la hauteur manométrique comprend une partie de la hauteur due à la vitesse; si elle se trouve à l'amont, la hauteur manométrique est diminuée de la non-pression.

J'ai fait une série d'expériences relatives aux effets résultant des diverses positions données au petit ajutage de l'appareil destiné à mesurer la vitesse des filets fluides.

J'ai placé cet ajutage au centre du tuyau :

1° Contre le courant;

2° Dans le sens du courant;

3° Rectangulairement au courant; et j'ai obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant :

DIAMÈTRES.	VITESSES		HAUTEURS AU-DESSUS DE ZÉRO du tube de Pitot,			HAUTEURS du manomètre.	DIFFÉRENCES ENTRE LA COLONNE (7) et celles		
	MOYENNES.	AU CENTRE CALCULÉES d'après la formule $V - u = 11,30 . 0,689^{mèt} \sqrt{RI}$ (*)	contre le courant.	dans le sens du courant.	perpendiculairement au courant.		(4.)	(5.)	(6.)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
	0,758	0,878	0,112	0,046	0,042	0,0666	0,0454	0,0206	0,0246
mèt.	1,128	1,305	0,205	0,060	0,040	0,1030	0,1011	0,0439	0,0639
0,188	1,488	1,716	0,310	0,075	0,026	0,1432	0,1668	0,0682	0,1172
	1,933	2,229	0,490	0,100	0,020	0,2050	0,2850	0,1050	0,1850
	2,506	2,891	0,775	0,115	0,020	0,3118	0,4632	0,1968	0,2918
	4,323	4,976	2,095	»	0,240	0,7100	1,3850	»	0,9500
	0,452	0,536	0,082	»	»	0,066	0,016	»	»
	0,707	0,867	0,130	»	»	0,095	0,035	»	»
0,2432	1,347	1,899	0,405	0,120	0,090	0,218	0,187	0,098	0,128
	1,833	2,249	0,535	0,167	0,094	0,268	0,267	0,101	0,168
	3,833	4,702	1,925	0,345	»	0,770	1,155	0,425	»
	0,537	0,625	0,097	0,067	0,060	0,073	0,024	0,006	0,013
0,2447	0,949	1,102	0,182	»	0,085	0,124	0,058	»	0,039
	1,904	2,214	0,517	»	»	0,270	0,247	»	»
	0,355	0,417	0,067	0,053	»	0,058	0,009	0,005	»
0,297	1,236	1,421	0,277	0,110	0,100	0,160	0,117	0,050	0,060
	1,665	1,915	0,425	0,114	0,105	0,210	0,215	0,096	0,105
	2,365	2,718	0,720	0,120	0,085	0,310	0,410	0,190	0,225
	0,4752	0,568	0,260	0,237	0,233	0,2434	0,0166	0,0064	0,0104
0,50	0,7951	0,929	0,550	0,480	»	0,49375	0,05625	0,01375	»
	1,1197	1,313	0,845	0,720	0,715	0,7574	0,0876	0,0374	0,0424

(*) La justification de cette formule se trouve dans le chapitre V.

Si l'on appelle

h' les hauteurs dues aux vitesses de la colonne (3) (colonne (8));

h'' les dépressions exprimées dans la colonne (9);

h''' celles données la colonne (10);

V les vitesses centrales indiquées dans la colonne (3), et qu'on pose les équations :

$$V = a' \frac{h'}{V},$$

$$V = a'' \frac{h''}{V},$$

$$V = a''' \frac{h'''}{V},$$

qu'on prenne ensuite les valeurs de V pour abscisses et celles de

$$\frac{h'}{V} \cdots \frac{h''}{V} \cdots \frac{h'''}{V}$$

pour ordonnées, on aura trois droites (planche XII) qui serviront à déterminer les valeurs des coefficients

$$a', \quad a'', \quad a''',$$

et qui donneront

$$a' = 18,36,$$
$$a'' = 45,17,$$
$$a''' = 28,91,$$

les résultats du tableau ci-dessus peuvent donc être liés par les formules suivantes :

1° Lorsque l'orifice du tube de Pitot est dirigé contre le courant,

$$V^2 = 18,36\, h'.$$

2° Lorsque l'orifice du tube de Pitot est dirigé dans le sens du courant,

$$V^2 = 45,17\, h''.$$

3° Lorsque l'orifice du tube de Pitot est dirigé rectangulairement au courant,

$$V^2 = 28,91\, h'''$$ [1].

Or, la formule théorique qui donne la vitesse d'après la hauteur de charge du liquide est :

$$V^2 = 19,62\, h.$$

La comparaison des expressions expérimentales et théoriques $V^2 = 18,36\, h'$ et $V^2 = 19,62\, h$ suggère une première réflexion : Si nous posons $V^2 = k . 19,62\, h$, k étant un coefficient de tarage pour le tube de Pitot, on voit qu'ici k a été plus petit que l'unité, tandis que l'on aurait dû parvenir pour k à une valeur au moins égale à l'unité : ce résultat, singulier en apparence, tient à la succion qui s'opère à la base du tube manométrique, d'où il résulte que

[1] h'' et h''' étaient, je n'ai pas besoin de le dire, des quantités négatives relativement à h'.

la hauteur due à la vitesse est mesurée par une différence trop grande, ce qui conduit pour k à une valeur plus petite que l'unité.

On voit, en second lieu, que la dépression due à la vitesse rectangulaire à l'orifice du tube est à celle due à la vitesse dirigée dans le sens de ce tube comme

$$\frac{1}{28,91} : \frac{1}{45,17},$$

ou comme

$$1\frac{1}{2} : 1;$$

cette dépression est donc une fois et demie plus considérable dans le premier cas que dans le second.

On voit, enfin, que la hauteur due à la vitesse dans le tube Pitot est à très-peu près égale à la somme des deux dépressions que l'on obtient :

1° En plaçant le tube dans le sens du courant;

2° En tournant son orifice rectangulairement à la direction de ce même courant.

Les dépressions si notables produites par un courant perpendiculaire à la direction d'un tube plongé dans ce courant, dépressions dont nous venons de donner les lois, offrent une explication très-simple de l'abaissement qu'on peut observer quelquefois dans le niveau d'un réservoir naturel, ou d'un lac, au-dessous de celui de la masse fluide avec laquelle il communique.

Il suffit, pour se rendre compte de cette dérogation apparente aux lois naturelles, de supposer ce réservoir alimenté par un canal souterrain qui, d'une part, se rendrait à la masse fluide, et d'autre part, au réservoir au moyen d'une branche artésienne.

En effet, si le courant inférieur a quelque rapidité, et si la masse fluide n'est pas très-éloignée du réservoir, il pourra arriver que la hauteur nécessaire pour surmonter les frottements que le liquide souterrain rencontrera entre le réservoir et la masse fluide, soit plus petite que la dépression produite par la rencontre du courant souterrain et du conduit naturel qui se relève pour alimenter le réservoir.

Le niveau de celui-ci sera donc nécessairement inférieur au niveau de la masse fluide.

Sur les bords de la mer, où il existe souvent des courants de rive présentant une grande vitesse, l'action de ces courants sur l'embouchure du conduit qui met en communication le réservoir avec la mer suffira pour produire le même phénomène.

J'ai eu occasion, dans le cours de mes expériences, de réaliser tous les phénomènes que je viens de décrire.

NOTE 2.

TUBE JAUGEUR.

Les faits expérimentaux établis dans la note 1 de l'appendice n'offrent pas seulement un intérêt théorique; il m'a paru qu'ils pouvaient recevoir une application utile dans le jaugeage des eaux courantes.

Le tube de Pitot, qui dispense de l'emploi des compteurs à seconde, serait sans contredit l'instrument le plus simple pour opérer ces jaugeages, s'il n'était resté à l'état de principe à raison de certaines difficultés que présentait son usage.

Comment, en effet, mesurer la différence de niveau entre l'eau de l'intérieur du tube vertical et la surface agitée dans laquelle il est plongé? Cette différence est parfois très-faible et disparait en présence des oscillations du liquide contre les parois extérieures et dans l'intérieur du tube.

Les résultats obtenus dans la note 1 peuvent se résumer ainsi qu'il suit:

Si, dans une eau courante, en un point du fluide animé d'une vitesse v, on place un tube vertical recourbé horizontalement, dont l'orifice soit disposé d'abord contre le courant, ensuite dans le sens de ce dernier, enfin rectangulairement à sa direction; si on appelle h' la hauteur dont le niveau de l'eau s'élève dans la tranche verticale au-dessus de la surface du courant dans la première hypothèse, et h'' et h''' les quantités dont le niveau s'abaisse au-dessous de la surface du même courant dans les deux autres hypothèses; il existera entre $\frac{v^2}{2g}$, ou la hauteur théorique due à la vitesse du filet que l'on considère, et les hauteurs h', h'', h''' des rapports constants m, m', m''. Nous pourrons donc poser

$$\frac{v^2}{2g} = m h', \quad \frac{v^2}{2g} = m' h'', \quad \frac{v^2}{2g} = m'' h'''.$$

On tirera des deux premières équations, que nous considérerons d'abord seules,

$$v = \sqrt{\frac{m m'}{m + m'}} \sqrt{2g(h' + h'')}.$$

Supposons maintenant que nous ayons à notre disposition un instrument composé de deux tubes accolés dont les branches horizontales, exposées à l'action de l'eau courante, soient dirigées l'une contre le courant, l'autre dans le sens de ce dernier; la différence de niveau de l'eau renfermée dans ces tubes donnera évidemment $h' + h''$, sans qu'il soit nécessaire de déterminer le niveau de l'eau du courant.

J'ajouterai d'ailleurs, qu'au moyen de la fermeture d'un robinet inférieur, on pourrait conserver indéfiniment les indications fournies par l'instrument et constater à loisir les différences à observer.

Je ne donnerai ici aucun détail sur les précautions à prendre dans l'emploi du tube jaugeur, dont je me sers depuis plus d'une année pour des expériences de précision relatives au mouvement de l'eau dans les canaux découverts.

Lorsque l'on a déterminé, au moyen de quelques expériences, le coefficient de tarage $\sqrt{\frac{m\,m'}{m+m'}}=\mu$, on voit qu'il est très-facile d'obtenir la vitesse cherchée à l'aide de la formule $V=\mu\sqrt{2g\,(h'+h'')}=\mu v'$ et des tables qui donnent immédiatement la vitesse v' due à la hauteur $h'+h''$.

En combinant la première et la troisième équation, on serait arrivé à l'expression $V=\mu'\sqrt{2g\,(h'+h''')}=\mu' v''$ qui aurait pu servir également à déterminer la vitesse cherchée en disposant, conformément à l'hypothèse faite, les ajutages de l'appareil.

L'appareil dont il s'agit est décrit dans un ouvrage récemment publié, et qui a pour titre : *Les fontaines publiques de la ville de Dijon.*

NOTE 3

VALEURS DE ε TROUVÉES DANS LES TUYAUX CIRCULAIRES ET DANS LES CANAUX RECTANGULAIRES.

J'ai déterminé, en m'appuyant sur les principes qui résultent de mes expériences sur les tuyaux, les formules relatives au mouvement de l'eau dans les canaux rectangulaires.

Je m'occupe en ce moment de la rédaction d'un Mémoire qui a pour objet la justification de ces formules, justification directement basée, d'ailleurs, sur une série d'expériences spéciales que j'avais commencées avec le concours de MM. les ingénieurs Baumgarten et Charles Ritter, et que j'achève avec celui de M. Bazin, ingénieur attaché au canal de Bourgogne.

Mais je crois utile de faire connaître, dès à présent, que ces expériences et les formules qui en sont la conséquence m'ont donné des valeurs analogues pour ε, c'est-à-dire pour le coefficient qui représente l'intervention des actions mutuelles des molécules fluides dans le mouvement de l'eau. Cette similitude des valeurs de ε trouvées dans des circonstances expérimentales si différentes achèvera de justifier, je l'espère, l'équation d'équilibre

$$2\pi r\varepsilon R^2\left(\frac{dv}{dr}\right)^2=\pi r^2 i.$$

NOTE 4.

CLASSIFICATION DES EXPÉRIENCES.

Le tableau ci-contre a pour objet d'indiquer les numéros d'ordre des expériences qui ont servi à déterminer les coefficients des formules représentant la loi de l'écoulement de l'eau dans chaque conduite, et dans chaque système de formules d'interpolation.

On s'est, en général, abstenu de faire concourir à la recherche de ces coefficients les vitesses au-dessous de $0^m,10$ par seconde, attendu que la loi qui lie ces dernières à la pente ne pouvait être représentée par les formules adoptées.

DIAMÈTRES.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences employées pour la détermination des coefficients des formules 1-2 et 3-4.	5 et 6.
	6	6
	7	7
	8	8
	9	9
mèt. 0,0122	10	10
	11	11
	12	12
	13	13
	15	15
	16	16
	17	17
	18	18
	19	19
0,0266	20	20
	21	21
	22	22
	23	23
	24	24
	25	25
	26	26
	27	27
	28	28
	29	29
	30	30
	31	31
0,0395	32	32
	33	33
	34	34
	35	35
	36	36
	37	37
	38	38
	40	40
	41	41
0,014	42	42
	43	43
	44	44
	45	45
	46	46
	47	47
	48	48
0,027	49	49
	50	50
	51	51
	52	52
	53	53
	54	54
	55	55
0,041	56	56
	57	57
	58	58
	59	59

DIAMÈTRES.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences employées pour la détermination des coefficients des formules 1-2 et 3-4.	5 et 8.
	60	60
	61	61
	62	62
	63	63
	64	64
mèt. 0,0268	65	65
	66	66
	67	67
	68	68
	69	69
	70	70
	71	71
	72	72
	73	73
	74	74
	75	75
	76	76
0,0826	77	77
	78	78
	79	79
	80	80
	81	81
	82	82
	83	83
	84	84
	85	85
	86	86
	87	87
	88	88
0,196	89	89
	90	90
	91	91
	92	92
	93	93
	94	94
	95	95
	96	96
	97	97
0,285	98	98
	99	99
	100	100
	101	101
	102	102
	103	103
	104	104
0,08968	105	105
	106	106
	107	107

DIAMÈTRES.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences employées pour la détermination des coefficients des formules 1-2 et 3-4.	5 et 6.
	108	»
	109	109
	110	110
mèt. 0,0359	111	111
	112	112
	113	113
	114	114
	115	115
	116	116
	117	117
0,0364	118	118
	119	119
	120	120
	121	121
	122	122
	123	123
	124	124
0,0795	125	125
	126	126
	127	127
	128	128
	129	129
	129 bis.	129 bis.
0,0801	130	130
	131	131
	132	132
	133	133
	134	134
	135	135
	136	136
	137	137
	138	138
	139	139
0,0819	140	140
	141	141
	142	142
	143	143
	144	144
	145	145
	146	146
	147	147
	148	148
	149	149
	150	150
0,137	151	151
	152	152
	153	153
	154	154
	155	155
	156	156

DIAMÈTRES.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences employées pour la détermination des coefficients des formules 1-2 et 3-4.	5 et 6.
	157	157
	158	158
	159	159
	160	160
mèt. 0,188	161	161
	162	162
	163	163
	164	164
	165	165
	166	166
	167	167
	168	168
0,2432	169	169
	170	170
	171	171
	172	172
	173	173
	174	174
	175	175
	176	176
0,2447	177	177
	178	178
	179	179
	180	180
	181	181
	182	182
	183	183
	184	184
0,297	185	185
	186	186
	187	187
	188	188
	189	189
	190	190
	191	191
	192	192
0,50	193	193
	194	194
	195	195
	196	196

TABLE

RELATIVE AU DÉBIT DES TUYAUX DE CONDUITE.

Elle concerne, comme on l'a vu dans le chapitre IV, les conduites *en fonte neuve*.

Si l'on veut en faire usage pour des conduites déjà anciennes dans lesquelles le poli des surfaces est altéré par de légers dépôts ou par l'oxydation de la fonte, il faudra avoir égard aux observations faites dans le chapitre IV.

Première observation. — Lorsque l'on recherchera la pente correspondant à une vitesse déterminée, il conviendra de doubler cette pente, ou, si la pente est donnée, de la diviser par deux et de ne compter que la vitesse correspondant au quotient de cette division.

L'on aura ainsi égard au retard que le manque de poli des surfaces fait éprouver à la vitesse.

Deuxième observation. — Mais, indépendamment de ce retard provenant des aspérités des parois, il existe une autre cause qui affaiblit le volume de l'écoulement; elle est due à l'épaisseur de la couche déposée.

Pour y remédier, il importe, suivant la nature des eaux à conduire, d'augmenter les diamètres trouvés d'une certaine quantité, d'autant plus nécessaire à ajouter que les diamètres sont plus faibles.

Il est évident que, dans le calcul du diamètre des conduites à établir pour une fourniture d'eau, il faudra agir comme si les conduites étaient déjà recouvertes de dépôts, puisque ce résultat aura lieu infailliblement au bout d'un certain nombre d'années.

Les tables comprennent les 68 tuyaux de divers diamètres énumérés dans le chapitre IV et dont les $b_1 \ldots \frac{b_1}{R} \cdots \sqrt{\frac{R}{b_1}}$ ont été calculés dans ce même chapitre et graphiquement représentés dans la planche X.

Les vitesses varient de 1 en 1 centimètre entre les vitesses de $0^m,10$ et $0^m,50$ par seconde;

De 2 en 2 centimètres entre les vitesses de $0^m,50$ et 2 mètres par seconde;

De 5 en 5 centimètres entre les vitesses de 2 mètres et 3 mètres par seconde; le plus petit diamètre est d'un centimètre, le plus grand d'un mètre.

Les calculs ont été effectués au moyen de la formule

$$R\,i = \left(0,000507 + \frac{0.00000647}{R}\right) u^2,$$

mais on pourra dans les calculs directs que l'on voudrait effectuer se borner à recourir à l'expression plus simple

$$R\,i = \left(0{,}000.51 + \frac{0{,}000.006.5}{R}\right) v^2.$$

On s'est donné les vitesses; les charges par 100 mètres inscrites dans les colonnes ainsi désignées, ont été déduites de l'expression

$$100^{m}\,\frac{\left(0{,}000.507 + \dfrac{0{,}000.006.47}{R}\right) v^2}{R} = \left(\frac{0{,}0507}{R} + \frac{0{,}000.647}{R^2}\right) v^2.$$

On aurait pu réduire sans doute le nombre des décimales de la colonne des charges; si je ne l'ai pas fait, mon motif principal a été de permettre d'apercevoir la loi numérique qui régit la diminution de charge, pour une même vitesse, au fur et à mesure que le diamètre de la conduite augmente. On sera toujours libre dans les applications de s'en tenir au degré d'approximation que l'on jugera convenable.

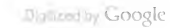
Je n'ai point d'observation à faire au sujet de la colonne qui donne les volumes, et dans laquelle le litre a été pris pour unité.

Je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'entrer dans aucune explication nouvelle ou de donner des exemples en ce qui concerne l'usage des tables suivantes : il était convenable seulement d'indiquer la manière dont elles avaient été établies et les précautions à prendre en s'en servant.

TUYAUX NEUFS.		10 CENTIMÈTRES.		11 CENTIMÈTRES.		12 CENTIMÈTRES.		13 CENTI-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	0,360,200	0,008	0,435,84	0,009	0,318,60	0,009	0,008,74
0,02	0,000,314	0,113,400	0,031	0,139,64	0,035	0,166,18	0,038	0,195,03
0,027	0,000,573	0,073,056	0,057	0,088,398	0,063	0,105,20	0,069	0,123,47
0,03	0,000,707	0,062,555	0,071	0,075,692	0,078	0,090,080	0,085	0,105,72
0,04	0,001,257	0,041,525	0,126	0,050,245	0,138	0,059,796	0,131	0,070,177
0,05	0,001,964	0,030,632	0,196	0,037,065	0,216	0,044,110	0,236	0,051,708
0,054	0,002,290	0,027,653	0,229	0,033,461	0,252	0,039,820	0,275	0,046,734
0,06	0,002,827	0,024,089	0,283	0,029,148	0,311	0,034,688	0,339	0,040,710
0,07	0,003,848	0,019,767	0,385	0,023,919	0,423	0,028,465	0,462	0,033,407
0,08	0,005,027	0,016,719	0,503	0,020,230	0,553	0,024,075	0,603	0,028,255
0,081	0,005,153	0,016,463	0,515	0,019,920	0,567	0,023,707	0,618	0,027,822
0,09	0,006,362	0,014,462	0,636	0,017,499	0,700	0,020,825	0,763	0,024,440
0,10	0,007,854	0,012,728	0,785	0,015,401	0,864	0,018,328	0,943	0,021,510
0,108	0,009,161	0,011,608	0,916	0,014,045	1,008	0,016,715	1,099	0,019,617
0,11	0,009,503	0,011,357	0,950	0,013,742	1,045	0,016,354	1,140	0,010,193
0,12	0,011,310	0,010,247	1,131	0,012,399	1,244	0,014,756	1,357	0,017,318
0,13	0,013,273	0,009,331	1,327	0,011,291	1,460	0,013,437	1,593	0,015,770
0,135	0,014,314	0,008,931	1,431	0,010,807	1,575	0,012,861	1,718	0,015,094
0,14	0,015,394	0,008,563	1,539	0,010,362	1,693	0,012,331	1,847	0,014,472
0,15	0,017,672	0,007,910	1,767	0,009,571	1,944	0,011,391	2,121	0,013,368
0,16	0,020,106	0,007,349	2,011	0,008,892	2,212	0,010,582	2,413	0,012,419
0,162	0,020,612	0,007,245	2,061	0,008,767	2,267	0,010,433	2,473	0,012,245
0,17	0,022,698	0,006,860	2,270	0,008,301	2,497	0,009,879	2,724	0,011,594
0,18	0,025,447	0,006,432	2,545	0,007,783	2,799	0,009,262	3,054	0,010,870
0,19	0,028,353	0,006,054	2,835	0,007,325	3,119	0,008,718	3,402	0,010,231
0,20	0,031,416	0,005,717	3,142	0,006,918	3,456	0,008,233	3,770	0,009,662
0,21	0,034,636	0,005,415	3,464	0,006,553	3,810	0,007,798	4,156	0,009,152
0,216	0,036,644	0,005,249	3,664	0,006,352	4,031	0,007,559	4,397	0,008,871
0,22	0,038,013	0,005,144	3,801	0,006,224	4,182	0,007,407	4,562	0,008,693
0,23	0,041,548	0,004,898	4,155	0,005,927	4,570	0,007,053	4,986	0,008,275
0,24	0,045,239	0,004,674	4,524	0,005,656	4,976	0,006,731	5,429	0,007,900
0,25	0,049,088	0,004,470	4,909	0,005,409	5,400	0,006,437	5,091	0,007,554
0,26	0,053,093	0,004,283	5,309	0,005,182	5,840	0,000,167	6,371	0,007,238
0,27	0,037,256	0,004,111	5,726	0,004,974	6,298	0,005,919	0,871	0,006,947
0,28	0,061,575	0,003,952	6,158	0,004,781	6,773	0,005,690	7,389	0,006,678
0,29	0,066,052	0,003,804	6,003	0,004,603	7,266	0,005,478	7,926	0,006,429
0,30	0,070,686	0,003,668	7,069	0,004,438	7,776	0,005,281	8,482	0,006,198
0,31	0,075,477	0,003,540	7,348	0,004,284	8,303	0,005,098	9,057	0,005,983
0,32	0,080,425	0,003,422	8,043	0,004,140	8,847	0,004,927	9,651	0,005,782
0,325	0,082,958	0,003,365	8,296	0,004,072	9,125	0,004,846	9,955	0,005,687
0,33	0,085,530	0,003,310	8,553	0,004,006	9,408	0,004,707	10,264	0,005,595
0,34	0,090,792	0,003,206	9,079	0,003,880	9,987	0,004,617	10,895	0,005,419
0,35	0,096,212	0,003,108	0,621	0,003,761	10,583	0,004,476	11,545	0,005,253
0,36	0,101,788	0,003,016	10,179	0,003,650	11,197	0,004,344	12,215	0,005,098
0,37	0,107,521	0,002,930	10,752	0,003,545	11,827	0,004,219	12,903	0,004,951
0,38	0,113,412	0,002,848	11,341	0,003,446	12,475	0,004,101	13,609	0,004,813
0,39	0,119,459	0,002,770	11,946	0,003,352	13,141	0,003,989	14,335	0,004,682
0,40	0,125,664	0,002,697	12,566	0,003,263	13,823	0,003,883	13,080	0,004,558
0,41	0,132,026	0,002,627	13,203	0,003,179	14,523	0,003,783	15,843	0,004,440
0,42	0,138,545	0,002,561	13,855	0,003,099	15,240	0,003,688	10,625	0,004,328
0,43	0,145,221	0,002,498	14,522	0,003,023	15,974	0,003,597	17,427	0,004,222
0,44	0,152,053	0,002,438	15,205	0,002,950	16,726	0,003,511	18,246	0,004,121
0,45	0,159,043	0,002,381	13,904	0,002,881	17,495	0,003,429	19,085	0,004,024
0,46	0,166,191	0,002,327	16,619	0,002,815	18,281	0,003,350	19,943	0,003,932
0,47	0,173,495	0,002,275	17,350	0,002,752	19,084	0,003,273	20,819	0,003,844
0,48	0,180,956	0,002,225	18,096	0,002,692	19,905	0,003,204	21,713	0,003,760
0,49	0,188,575	0,002,177	18,858	0,002,634	20,743	0,003,133	22,629	0,003,679
0,50	0,196,350	0,002,132	19,635	0,002,579	21,599	0,003,069	23,562	0,003,602
0,55	0,237,583	0,001,929	23,758	0,002,334	26,134	0,002,778	28,510	0,003,260
0,60	0,282,744	0,001,762	28,274	0,002,132	31,102	0,002,537	33,929	0,002,978
0,65	0,331,832	0,001,621	33,183	0,001,962	36,502	0,002,335	39,820	0,002,740
0,70	0,384,846	0,001,501	38,485	0,001,817	42,333	0,002,162	46,182	0,002,537
0,75	0,441,788	0,001,398	44,179	0,001,692	48,597	0,002,013	53,015	0,002,363
0,80	0,502,656	0,001,308	50,266	0,001,583	55,292	0,001,883	60,310	0,002,210
0,85	0,567,451	0,001,229	56,745	0,001,487	62,420	0,001,769	68,094	0,002,077
0,90	0,636,174	0,001,159	63,617	0,001,402	69,979	0,001,668	76,341	0,001,958
0,95	0,708,823	0,001,096	70,882	0,001,326	77,971	0,001,578	85,059	0,001,852
1,00	0,785,400	0,001,040	78,540	0,001,258	86,394	0,001,497	94,248	0,001,757

VITESSES.								
MÈTRES.	14 CENTIMÈTRES.		15 CENTIMÈTRES.		16 CENTIMÈTRES.		17 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,010	0,705,99	0,011	0,810,45	0,012	0,922,11	0,013	1,041,0	0,013
0,041	0,326,18	0,044	0,259,65	0,047	0,295,42	0,050	0,333,51	0,053
0,074	0,143,19	0,080	0,164,38	0,086	0,187,03	0,092	0,211,13	0,097
0,092	0,122,61	0,099	0,140,75	0,106	0,160,14	0,113	0,180,78	0,120
0,163	0,081,130	0,176	0,093,431	0,189	0,106,30	0,201	0,120,01	0,214
0,255	0,060,039	0,275	0,068,922	0,295	0,078,418	0,314	0,088,527	0,334
0,298	0,054,200	0,321	0,062,210	0,344	0,070,792	0,366	0,079,917	0,389
0,368	0,047,214	0,396	0,054,200	0,424	0,061,668	0,452	0,069,617	0,481
0,500	0,038,744	0,539	0,044,477	0,577	0,050,605	0,616	0,057,128	0,654
0,654	0,032,769	0,704	0,037,617	0,754	0,042,800	0,804	0,048,317	0,855
0,670	0,032,267	0,721	0,037,042	0,773	0,042,145	0,825	0,047,578	6,876
0,827	0,028,345	0,891	0,032,539	0,954	0,037,022	1,018	0,041,795	1,082
1,021	0,024,947	1,100	0,028,638	1,178	0,032,584	1,257	0,036,784	1,335
1,191	0,022,751	1,283	0,026,118	1,374	0,029,716	1,466	0,033,546	1,557
1,235	0,022,200	1,330	0,025,553	1,425	0,029,074	1,521	0,032,822	1,616
1,470	0,020,080	1,583	0,023,056	1,696	0,026,233	1,810	0,029,614	1,923
1,726	0,018,290	1,858	0,020,996	1,991	0,023,888	2,124	0,026,968	2,257
1,861	0,017,505	2,004	0,020,095	2,147	0,022,864	2,290	0,025,811	2,433
2,001	0,016,780	2,155	0,019,267	2,309	0,021,922	2,463	0,024,748	2,617
2,297	0,015,504	2,474	0,017,798	2,051	0,020,250	2,827	0,022,861	3,004
2,614	0,014,403	2,815	0,016,534	3,016	0,018,812	3,217	0,021,237	3,418
2,680	0,014,201	2,886	0,016,302	3,092	0,018,548	3,298	0,020,939	3,504
2,951	0,013,436	3,178	0,015,430	3,405	0,017,562	3,632	0,019,826	3,859
3,308	0,012,607	3,563	0,014,472	3,817	0,016,466	4,072	0,018,589	4,326
3,686	0,011,865	3,969	0,013,621	4,253	0,015,498	4,536	0,017,496	4,820
4,084	0,011,205	4,398	0,012,863	4,712	0,014,636	5,027	0,016,522	5,341
4,503	0,010,614	4,849	0,012,185	5,195	0,013,863	5,542	0,015,651	5,888
4,764	0,010,288	5,130	0,011,811	5,497	0,013,438	5,863	0,015,170	6,229
4,942	0,010,082	5,322	0,011,574	5,702	0,013,168	6,082	0,014,866	6,462
5,401	0,009,600	5,817	0,011,020	6,232	0,012,539	6,648	0,014,155	7,063
5,851	0,009,162	6,333	0,010,517	6,786	0,011,966	7,238	0,013,509	7,691
6,381	0,008,761	6,872	0,010,058	7,363	0,011,443	7,854	0,012,919	8,345
6,902	0,008,394	7,433	0,009,636	7,964	0,010,964	8,495	0,012,377	9,026
7,443	0,008,057	8,010	0,009,249	8,588	0,010,523	9,101	0,011,880	9,733
8,005	0,007,745	8,621	0,008,891	9,236	0,010,116	9,852	0,011,420	10,468
8,587	0,007,456	9,247	0,008,560	9,908	0,009,739	10,568	0,010,994	11,229
9,189	0,007,188	9,896	0,008,252	10,603	0,009,389	11,310	0,010,599	12,017
9,812	0,006,939	10,567	0,007,966	11,322	0,009,063	12,076	0,010,231	12,831
10,455	0,006,706	11,259	0,007,698	12,064	0,008,759	12,868	0,009,888	13,672
10,785	0,006,596	11,614	0,007,571	12,444	0,008,615	13,273	0,009,725	14,103
11,119	0,006,488	11,974	0,007,448	12,830	0,008,475	13,686	0,009,567	14,540
11,803	0,006,284	12,711	0,007,214	13,619	0,008,208	14,527	0,009,266	15,435
12,507	0,006,093	13,470	0,006,994	14,432	0,007,958	15,394	0,008,983	16,356
13,232	0,005,912	14,250	0,006,787	15,268	0,007,722	16,286	0,008,717	17,304
13,978	0,005,742	15,053	0,006,592	16,128	0,007,500	17,203	0,008,466	18,279
14,744	0,005,581	15,878	0,006,407	17,012	0,007,290	18,146	0,008,230	19,280
15,530	0,005,430	16,724	0,006,233	17,919	0,007,092	10,113	0,008,006	20,308
16,336	0,005,286	17,593	0,006,068	18,850	0,006,904	20,106	0,007,794	21,363
17,163	0,005,149	18,484	0,005,911	19,804	0,006,725	21,124	0,007,592	22,444
18,011	0,005,020	19,396	0,005,762	20,782	0,006,556	22,167	0,007,401	23,553
18,879	0,004,860	20,331	0,005,621	21,783	0,006,395	23,235	0,007,220	24,688
19,767	0,004,779	21,287	0,005,486	22,808	0,006,242	24,328	0,007,047	25,849
20,676	0,004,667	22,266	0,005,358	23,856	0,006,096	25,446	0,006,882	27,037
21,605	0,004,560	23,267	0,005,235	24,929	0,005,956	26,591	0,006,724	28,252
22,554	0,004,458	24,289	0,005,118	26,024	0,005,823	27,759	0,006,574	29,494
23,524	0,004,361	25,334	0,005,006	27,143	0,005,696	28,953	0,006,430	30,763
24,515	0,004,267	26,401	0,004,899	28,286	0,005,574	30,172	0,006,292	32,058
25,526	0,004,178	27,489	0,004,796	29,453	0,005,457	31,416	0,006,160	33,380
30,886	0,003,781	33,262	0,004,341	35,637	0,004,939	38,013	0,005,575	40,389
36,757	0,003,453	39,584	0,003,964	42,412	0,004,511	45,239	0,005,092	48,066
43,138	0,003,178	46,456	0,003,648	49,775	0,004,150	53,093	0,004,685	56,411
50,030	0,002,943	53,878	0,003,378	57,727	0,003,844	61,575	0,004,339	65,424
57,432	0,002,740	61,850	0,003,146	66,268	0,003,579	70,686	0,004,040	75,104
65,345	0,002,564	70,372	0,002,943	75,398	0,003,349	80,425	0,003,780	85,452
73,769	0,002,408	79,443	0,002,765	85,118	0,003,146	90,792	0,003,551	96,467
82,703	0,002,271	89,064	0,002,607	95,426	0,002,966	101,788	0,003,348	108,150
92,147	0,002,148	99,235	0,002,466	106,323	0,002,806	113,412	0,003,168	120,500
102,102	0,002,038	109,956	0,002,340	117,810	0,002,662	125,664	0,003,005	133,518

TUYAUX NEUFS		18 CENTIMÈTRES.		19 CENTIMÈTRES.		20 CENTIMÈTRES.		21 CENTI-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	1,167,0	0,014	1,300,3	0,015	1,440,80	0,016	1,588,5
0,02	0,000,314	0,373,90	0,057	0,416,50	0,060	0,461,60	0,063	0,508,91
0,027	0,000,573	0,236,70	0,103	0,263,73	0,109	0,292,23	0,115	0,322,18
0,03	0,000,707	0,202,68	0,127	0,225,82	0,134	0,250,22	0,141	0,275,87
0,04	0,001,257	0,134,54	0,226	0,149,91	0,239	0,166,10	0,251	0,183,13
0,05	0,001,964	0,099,248	0,353	0,110,58	0,373	0,122,53	0,393	0,135,09
0,054	0,002,290	0,089,596	0,412	0,099,827	0,435	0,110,61	0,458	0,121,95
0,06	0,002,827	0,078,048	0,509	0,086,961	0,537	0,096,356	0,566	0,106,23
0,07	0,003,848	0,064,046	0,693	0,071,360	0,731	0,079,070	0,770	0,087,174
0,08	0,005,027	0,054,169	0,905	0,060,355	0,955	0,066,875	1,005	0,073,730
0,081	0,005,153	0,053,340	0,928	0,059,431	0,979	0,065,852	1,031	0,072,602
0,09	0,006,362	0,046,856	1,145	0,052,207	1,209	0,057,847	1,272	0,063,776
0,10	0,007,854	0,041,230	1,414	0,045,938	1,392	0,050,912	1,571	0,056,130
0,108	0,009,161	0,037,609	1,619	0,041,904	1,741	0,046,431	1,832	0,051,190
0,11	0,009,503	0,036,797	1,711	0,040,999	1,806	0,045,428	1,901	0,050,085
0,12	0,011,310	0,033,201	2,036	0,036,992	2,149	0,040,989	2,262	0,045,190
0,13	0,013,273	0,030,234	2,389	0,033,686	2,522	0,037,326	2,655	0,041,151
0,135	0,014,314	0,028,937	2,577	0,032,241	2,720	0,035,724	2,863	0,039,386
0,14	0,015,394	0,027,745	2,771	0,030,913	2,925	0,034,253	3,079	0,037,764
0,15	0,017,072	0,025,629	3,181	0,028,556	3,358	0,031,641	3,534	0,034,884
0,16	0,020,106	0,023,809	3,619	0,026,528	3,820	0,029,394	4,021	0,032,407
0,162	0,020,612	0,023,475	3,710	0,026,156	3,916	0,028,982	4,122	0,031,952
0,17	0,022,698	0,022,227	4,086	0,024,765	4,313	0,027,441	4,540	0,030,254
0,18	0,025,447	0,020,840	4,580	0,023,220	4,835	0,025,728	5,089	0,028,366
0,19	0,028,353	0,019,614	5,104	0,021,854	5,387	0,024,215	5,671	0,026,697
0,20	0,031,416	0,018,523	5,655	0,020,638	5,969	0,022,868	6,283	0,025,212
0,21	0,034,636	0,017,546	6,235	0,019,550	6,581	0,021,662	6,927	0,023,882
0,216	0,036,644	0,017,007	6,596	0,018,949	6,962	0,020,997	7,329	0,023,149
0,22	0,038,013	0,016,666	6,842	0,018,569	7,223	0,020,575	7,603	0,022,684
0,23	0,041,548	0,015,869	7,479	0,017,681	7,894	0,019,592	8,310	0,021,600
0,24	0,045,239	0,015,145	8,143	0,016,874	8,595	0,018,697	9,048	0,020,614
0,25	0,049,088	0,014,483	8,836	0,016,137	9,327	0,017,880	9,818	0,019,713
0,26	0,053,093	0,013,876	9,557	0,015,461	10,088	0,017,131	10,619	0,018,887
0,27	0,057,256	0,013,318	10,306	0,014,839	10,879	0,016,442	11,451	0,018,128
0,28	0,061,575	0,012,803	11,084	0,014,265	11,699	0,015,806	12,315	0,017,426
0,29	0,066,052	0,012,326	11,889	0,013,733	12,550	0,015,217	13,210	0,016,777
0,30	0,070,686	0,011,883	12,723	0,013,240	13,430	0,014,670	14,137	0,016,174
0,31	0,075,477	0,011,470	13,586	0,012,780	14,341	0,014,161	15,095	0,015,613
0,32	0,080,425	0,011,086	14,476	0,012,352	15,281	0,013,656	16,085	0,015,089
0,325	0,082,958	0,010,903	14,932	0,012,148	15,762	0,013,460	16,592	0,014,840
0,33	0,085,530	0,010,726	15,395	0,011,950	16,251	0,013,241	17,106	0,014,599
0,34	0,090,792	0,010,388	16,343	0,011,575	17,251	0,012,825	18,158	0,014,139
0,35	0,096,212	0,010,071	17,318	0,011,221	18,280	0,012,434	19,242	0,013,708
0,36	0,101,788	0,009,773	18,322	0,010,889	19,340	0,012,065	20,358	0,013,302
0,37	0,107,521	0,009,492	19,354	0,010,576	20,429	0,011,718	21,504	0,012,919
0,38	0,113,412	0,009,226	20,414	0,010,280	21,548	0,011,391	22,682	0,012,558
0,39	0,119,459	0,008,975	21,503	0,010,000	22,607	0,011,081	23,892	0,012,216
0,40	0,125,664	0,008,738	22,620	0,009,735	23,876	0,010,787	25,133	0,011,893
0,41	0,132,026	0,008,512	23,765	0,009,484	25,085	0,010,508	26,405	0,011,586
0,42	0,138,545	0,008,298	24,938	0,009,245	26,324	0,010,244	27,709	0,011,294
0,43	0,145,221	0,008,094	26,140	0,009,018	27,592	0,009,992	29,044	0,011,017
0,44	0,152,053	0,007,900	27,370	0,008,802	28,890	0,009,753	30,411	0,010,753
0,45	0,159,043	0,007,715	28,628	0,008,596	30,218	0,009,525	31,809	0,010,501
0,46	0,166,191	0,007,538	29,914	0,008,399	31,576	0,009,307	33,238	0,010,261
0,47	0,173,495	0,007,370	31,229	0,008,211	32,964	0,009,098	34,699	0,010,031
0,48	0,180,956	0,007,209	32,572	0,008,032	34,382	0,008,899	36,191	0,009,812
0,49	0,188,575	0,007,054	33,944	0,007,860	35,829	0,008,709	37,715	0,009,601
0,50	0,196,350	0,006,906	35,343	0,007,695	37,307	0,008,526	39,270	0,009,400
0,55	0,237,583	0,006,251	42,765	0,006,964	45,141	0,007,717	47,517	0,008,508
0,60	0,282,744	0,005,709	50,894	0,006,361	53,721	0,007,048	56,549	0,007,770
0,65	0,331,832	0,005,253	59,730	0,005,853	63,048	0,006,485	66,366	0,007,150
0,70	0,384,840	0,004,865	69,272	0,005,420	73,121	0,006,006	76,969	0,006,621
0,75	0,441,788	0,004,530	79,522	0,005,047	83,940	0,005,592	88,358	0,006,165
0,80	0,502,656	0,004,238	90,478	0,004,722	95,505	0,005,232	100,531	0,005,768
0,85	0,567,451	0,003,981	102,141	0,004,436	107,816	0,004,915	113,490	0,005,419
0,90	0,634,174	0,003,754	114,511	0,004,183	120,873	0,004,634	127,235	0,005,110
0,95	0,708,823	0,003,551	127,588	0,003,957	134,676	0,004,384	141,765	0,004,834
1,00	0,785,400	0,003,369	141,372	0,003,754	149,226	0,004,160	157,080	0,004,586



VITESSES. MÈTRES.	22 CENTIMÈTRES.		23 CENTIMÈTRES.		24 CENTIMÈTRES.		25 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.
0,016	1,743,4	0,017	1,906,5	0,018	2,074,8	0,019	2,251,2	0,020
0,066	0,558,54	0,069	0,610,17	0,072	0,664,70	0,075	0,721,25	0,079
0,120	0,353,59	0,126	0,386,47	0,132	0,420,80	0,137	0,456,60	0,143
0,148	0,302,77	0,155	0,330,92	0,163	0,360,32	0,170	0,390,97	0,177
0,264	0,200,98	0,277	0,219,67	0,289	0,239,18	0,302	0,259,53	0,314
0,412	0,148,26	0,432	0,162,04	0,452	0,176,44	0,471	0,191,45	0,491
0,481	0,133,84	0,504	0,146,28	0,527	0,159,28	0,550	0,172,83	0,573
0,594	0,116,59	0,622	0,127,43	0,650	0,138,75	0,679	0,150,56	0,707
0,808	0,095,674	0,847	0,104,57	0,885	0,113,86	0,924	0,123,55	0,962
1,056	0,080,919	1,106	0,088,442	1,156	0,096,300	1,200	0,104,49	1,257
1,082	0,079,681	1,134	0,087,089	1,185	0,094,827	1,237	0,102,89	1,288
1,336	0,069,995	1,400	0,076,503	1,463	0,083,300	1,527	0,090,386	1,590
1,649	0,061,603	1,728	0,067,331	1,806	0,073,313	1,885	0,079,550	1,964
1,924	0,056,182	2,015	0,061,405	2,107	0,066,861	2,199	0,072,549	2,290
1,996	0,054,968	2,091	0,060,079	2,186	0,065,417	2,281	0,070,982	2,376
2,375	0,049,596	2,488	0,054,208	2,601	0,059,023	2,714	0,064,045	2,827
2,787	0,045,164	2,920	0,049,363	3,053	0,053,749	3,186	0,058,321	3,318
3,006	0,043,227	3,149	0,047,246	3,292	0,051,443	3,435	0,055,819	3,578
3,233	0,041,446	3,387	0,045,300	3,541	0,049,324	3,695	0,053,521	3,848
3,711	0,038,286	3,888	0,041,845	4,064	0,045,563	4,241	0,049,430	4,418
4,222	0,035,867	4,423	0,038,874	4,624	0,042,327	4,825	0,045,918	5,027
4,329	0,035,068	4,535	0,038,328	4,741	0,041,734	4,947	0,045,284	5,153
4,767	0,033,204	4,994	0,036,291	5,221	0,039,515	5,448	0,042,876	5,675
5,344	0,031,131	5,588	0,034,026	5,843	0,037,040	6,107	0,040,201	6,362
5,954	0,029,300	6,238	0,032,025	6,521	0,034,870	6,805	0,037,836	7,088
6,597	0,027,670	6,912	0,030,243	7,226	0,032,930	7,540	0,035,731	7,854
7,274	0,026,211	7,620	0,028,648	7,966	0 031,193	8,313	0,033,846	8,659
7,695	0,025,406	8,062	0,027,768	8,423	0,030,235	8,794	0,032,807	9,161
7,983	0,024,890	8,363	0,027,211	8,743	0,029,628	9,123	0,032,149	9,503
8,725	0,023,706	9,140	0,025,910	9,556	0,028,212	9,971	0,030,612	10,387
9,500	0,022,624	9,953	0,024,727	10,405	0,026,924	10,857	0,029,215	11,310
10,308	0,021,635	10,799	0,023,647	11,290	0,025,748	11,781	0,027,938	12,272
11,150	0,020,729	11,680	0,022,657	12,211	0,024,669	12,742	0,026,768	13,273
12,024	0,019,895	12,596	0,021,745	13,169	0,023,677	13,741	0,025,691	14,314
12,931	0,019,125	15,547	0,020,903	14,162	0,022,761	14,778	0,024,697	15,394
13,871	0,018,413	14,531	0,020,125	15,192	0,021,913	15,853	0,023,777	16,513
14,844	0,017,754	15,551	0,019,401	16,258	0,021,125	16,965	0,022,922	17,672
15,850	0,017,135	16,605	0,018,728	17,360	0,020,392	18,114	0,022,127	18,869
16,889	0,016,560	17,693	0,018,100	18,498	0,019,708	19,302	0,021,384	20,106
17,421	0,016,287	18,251	0,017,801	19,080	0,019,383	19,910	0,021,032	20,739
17,961	0,016,022	18,817	0,017,512	19,672	0,019,068	20,527	0,020,690	21,383
19,066	0,015,518	19,974	0,016,961	20,882	0,018,468	21,790	0,020,039	22,698
20,204	0,015,045	21,167	0,016,443	22,129	0,017,904	23,091	0,010,427	24,053
21,375	0,014,599	22,393	0,015,956	23,411	0,017,374	24,429	0,018,852	25,447
22,579	0,014,179	23,655	0,015,497	24,730	0,016,874	25,805	0,018,310	26,880
23,816	0,013,783	24,951	0,015,064	26,085	0,016,402	27,219	0,017,798	28,353
25,086	0,013,408	26,281	0,014,654	27,476	0,015,956	28,670	0,017,313	29,865
26,389	0,013,052	27,646	0,014,266	28,903	0,015,533	30,159	0,016,855	31,416
27,725	0,012,715	29,046	0,013,897	30,366	0,015,132	31,686	0,016,420	33,007
29,094	0,012,395	30,480	0,013,548	31,865	0,014,751	33,251	0,016,006	34,636
30,496	0,012,091	31,949	0,013,215	33,401	0,014,389	34,853	0,015,613	36,305
31,931	0,011,801	33,452	0,012,898	34,972	0,014,044	36,493	0,015,239	38,013
33,399	0,011,525	34,989	0,012,596	36,580	0,013,715	38,170	0,014,882	39,761
34,900	0,011,261	36,562	0,012,308	38,224	0,013,402	39,880	0,014,542	41,548
36,434	0,011,009	38,169	0,012,033	39,904	0,013,102	41,639	0,014,216	43,374
38,001	0,010,768	39,810	0,011,769	41,620	0,012,815	43,429	0,013,905	45,239
39,601	0,010,538	41,487	0,011,517	43,372	0,012,541	45,258	0,013,607	47,144
41,234	0,010,317	43,197	0,011,276	45,161	0,012,278	47,124	0,013,322	49,088
49,892	0,009,337	52,268	0,010,205	54,644	0,011,112	57,020	0,012,057	59,396
59,376	0,008,578	62,204	0,009,320	65,031	0,010,149	67,859	0,011,012	70,686
69,685	0,007,847	73,003	0,008,577	76,321	0,009,339	79,640	0,010,133	82,958
80,818	0,007,267	84,666	0,007,942	88,515	0,008,648	92,363	0,009,384	96,212
92,775	0,006,766	97,193	0,007,395	101,611	0,008,053	106,029	0,008,738	110,447
105,558	0,006,331	110,584	0,006,919	115,611	0,007,534	120,637	0,008,175	125,664
119,165	0,005,947	124,839	0,006,500	130,514	0,007,078	136,188	0,007,680	141,863
133,597	0,005,608	139,958	0,006,129	146,320	0,006,674	152,682	0,007,241	159,044
148,853	0,005,305	155,941	0,005,798	163,029	0,006,313	170,118	0,006,850	177,206
164,934	0,005,033	172,788	0,005,501	180,642	0,005,990	188,196	0,006,499	196,350

TUYAUX NEUFS.		26 CENTIMÈTRES.		27 CENTIMÈTRES.		28 CENTIMÈTRES.		29 CENTI-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	2,435,0	0,020	2,625,9	0,021	2,824,0	0,022	3,029,3
0,02	0,000,314	0,780,10	0,082	0,841,27	0,085	0,904,74	0,088	0,970,51
0,027	0,000,573	0,493,86	0,149	0,532,58	0,155	0,572,76	0,160	0,614,40
0,03	0,000,707	0,422,57	0,154	0,456,03	0,191	0,490,43	0,198	0,526,09
0,04	0,001,257	0,280,71	0,327	0,302,72	0,339	0,325,56	0,352	0,349,23
0,05	0,001,964	0,207,07	0,511	0,223,31	0,530	0,240,15	0,550	0,257,62
0,054	0,002,290	0,156,93	0,595	0,201,59	0,618	0,216,80	0,641	0,232,56
0,06	0,002,827	0,162,84	0,735	0,175,61	0,763	0,188,86	0,792	0,202,59
0,07	0,003,848	0,133,63	1,001	0,144,10	1,039	0,154,98	1,078	0,166,24
0,08	0,005,027	0,113,02	1,307	0,121,88	1,357	0,131,07	1,407	0,140,60
0,081	0,005,153	0,111,29	1,340	0,120,01	1,391	0,129,07	1,443	0,138,45
0,09	0,006,362	0,097,762	1,654	0,105,43	1,718	0,113,38	1,781	0,121,62
0,10	0,007,854	0,086,041	2,042	0,092,787	2,121	0,099,788	2,199	0,107,04
0,108	0,009,161	0,078,468	2,382	0,084,621	2,473	0,091,005	2,565	0,097,621
0,11	0,009,503	0,076,774	2,471	0,082,793	2,566	0,089,040	2,661	0,095,513
0,12	0,011,310	0,069,271	2,941	0,074,702	3,054	0,080,338	3,167	0,086,179
0,13	0,013,273	0,063,080	3,451	0,068,026	3,584	0,073,158	3,717	0,078,477
0,135	0,014,314	0,060,374	3,722	0,065,108	3,865	0,070,020	4,008	0,075,111
0,14	0,015,394	0,057,888	4,002	0,062,426	4,156	0,067,136	4,310	0,072,017
0,15	0,017,672	0,053,473	4,595	0,057,666	4,771	0,062,016	4,948	0,066,525
0,16	0,020,106	0,049,676	5,228	0,053,571	5,429	0,057,612	5,630	0,061,801
0,162	0,020,612	0,048,979	5,359	0,052,819	5,565	0,056,804	5,771	0,060,934
0,17	0,022,698	0,046,375	5,901	0,050,011	6,128	0,053,784	6,355	0,057,695
0,18	0,025,447	0,043,481	6,616	0,046,890	6,871	0,050,428	7,125	0,054,094
0,19	0,028,353	0,040,924	7,372	0,044,132	7,655	0,047,462	7,939	0,050,912
0,20	0,031,416	0,038,647	8,168	0,041,677	8,482	0,044,821	8,796	0,048,080
0,21	0,034,636	0,036,608	9,005	0,039,478	9,352	0,042,457	9,698	0,045,544
0,216	0,036,644	0,035,484	9,527	0,038,266	9,894	0,041,153	10,260	0,044,145
0,22	0,038,013	0,034,772	9,883	0,037,498	10,264	0,040,328	10,644	0,043,260
0,23	0,041,548	0,033,170	10,802	0,035,706	11,218	0,038,400	11,633	0,041,191
0,24	0,045,239	0,031,599	11,762	0,034,076	12,215	0,036,647	12,667	0,039,311
0,25	0,049,088	0,030,218	12,763	0,032,587	13,254	0,035,045	13,745	0,037,593
0,26	0,053,093	0,028,952	13,804	0,031,222	14,335	0,033,578	14,866	0,036,019
0,27	0,057,256	0,027,788	14,886	0,029,966	15,459	0,032,227	16,032	0,034,570
0,28	0,061,575	0,026,712	16,010	0,028,806	16,625	0,030,980	17,241	0,033,232
0,29	0,066,052	0,025,717	17,174	0,027,733	17,834	0,029,826	18,495	0,031,994
0,30	0,070,686	0,024,795	18,378	0,026,736	19,085	0,028,753	19,792	0,030,844
0,31	0,075,477	0,023,932	19,624	0,025,808	20,379	0,027,756	21,134	0,029,774
0,32	0,080,425	0,023,129	20,910	0,024,943	21,715	0,026,825	22,519	0,028,775
0,325	0,082,958	0,022,748	21,569	0,024,531	22,399	0,026,382	23,228	0,028,300
0,33	0,085,530	0,022,378	22,238	0,024,133	23,093	0,025,953	23,948	0,027,840
0,34	0,090,792	0,021,674	23,606	0,023,373	24,514	0,025,137	25,422	0,026,964
0,35	0,096,212	0,021,013	25,015	0,022,660	25,977	0,024,370	26,939	0,026,142
0,36	0,101,788	0,020,390	26,465	0,021,989	27,483	0,023,648	28,501	0,025,367
0,37	0,107,521	0,019,804	27,956	0,021,357	29,031	0,022,968	30,106	0,024,638
0,38	0,113,412	0,019,250	29,487	0,020,759	30,621	0,022,325	31,755	0,023,949
0,39	0,119,459	0,018,726	31,059	0,020,194	32,254	0,021,718	33,449	0,023,297
0,40	0,125,664	0,018,230	32,673	0,019,659	33,929	0,021,143	35,186	0,022,680
0,41	0,132,026	0,017,759	34,327	0,019,152	35,647	0,020,597	36,967	0,022,094
0,42	0,138,545	0,017,312	36,022	0,018,670	37,407	0,020,078	38,793	0,021,538
0,43	0,145,221	0,016,887	37,757	0,018,211	39,210	0,019,585	40,662	0,021,009
0,44	0,152,053	0,016,482	39,534	0,017,775	41,054	0,019,116	42,575	0,020,505
0,45	0,159,043	0,016,097	41,351	0,017,359	42,942	0,018,668	44,532	0,020,026
0,46	0,166,191	0,015,728	43,210	0,016,961	44,872	0,018,241	46,533	0,019,567
0,47	0,173,495	0,015,376	45,109	0,016,582	46,844	0,017,833	48,579	0,019,129
0,48	0,180,956	0,015,040	47,049	0,016,219	48,858	0,017,443	50,668	0,018,711
0,49	0,188,575	0,014,718	49,030	0,015,872	50,915	0,017,069	52,801	0,018,310
0,50	0,196,350	0,014,409	51,051	0,015,539	53,015	0,016,711	54,978	0,017,926
0,55	0,237,583	0,013,041	61,772	0,014,064	64,147	0,015,125	66,523	0,016,225
0,60	0,282,744	0,011,910	73,513	0,012,844	76,341	0,013,813	79,168	0,014,818
0,65	0,331,832	0,010,960	86,276	0,011,819	89,595	0,012,711	92,913	0,013,635
0,70	0,384,846	0,010,150	100,060	0,010,945	103,908	0,011,771	107,757	0,012,627
0,75	0,441,788	0,009,451	114,865	0,010,191	119,283	0,010,960	123,701	0,011,757
0,80	0,502,656	0,008,842	130,691	0,009,535	135,717	0,010,254	140,744	0,011,000
0,85	0,567,451	0,008,306	147,537	0,008,958	153,212	0,009,633	158,886	0,010,334
0,90	0,636,174	0,007,832	165,405	0,008,446	171,767	0,009,084	178,129	0,009,744
0,95	0,708,823	0,007,409	184,294	0,007,990	191,382	0,008,593	198,470	0,009,218
1,00	0,785,400	0,007,030	204,204	0,007,581	212,058	0,008,153	219,912	0,008,745

VITESSES.

MÈTRES.	30 CENTIMÈTRES.		31 CENTIMÈTRES.		32 CENTIMÈTRES.		33 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,023	3,241,8	0,024	3,461,5	0,024	3,658,5	0,025	3,922,6	0,026
0,091	1,038,6	0,094	1,109,0	0,097	1,181,7	0,101	1,256,7	0,104
0,166	0,657,507	0,172	0,702,07	0,177	0,748,10	0,183	0,795,58	0,189
0,205	0,562,998	0,212	0,601,16	0,219	0,640,57	0,226	0,681,23	0,233
0,364	0,373,723	0,377	0,399,06	0,390	0,425,22	0,402	0,452,21	0,415
0,569	0,275,688	0,589	0,294,37	0,609	0,313,67	0,628	0,333,58	0,648
0,664	0,248,877	0,687	0,265,75	0,710	0,283,17	0,733	0,301,14	0,756
0,820	0,216,801	0,848	0,231,50	0,877	0,246,67	0,905	0,262,33	0,933
1,116	0,177,907	1,155	0,189,97	1,193	0,202,42	1,232	0,215,27	1,270
1,458	0,150,468	1,508	0,160,67	1,558	0,171,20	1,609	0,182,07	1,659
1,494	0,148,167	1,546	0,158,21	1,597	0,168,58	1,649	0,179,28	1,700
1,843	0,130,156	1,909	0,138,98	1,972	0,148,09	2,036	0,157,49	2,099
2,278	0,114,552	2,356	0,122,32	2,435	0,130,33	2,513	0,138,61	2,592
2,657	0,104,470	2,748	0,111,55	2,840	0,118,86	2,931	0,126,41	3,023
2,756	0,102,214	2,851	0,109,14	2,946	0,116,30	3,041	0,123,68	3,136
3,280	0,092,225	3,393	0,098,475	3,506	0,104,93	3,619	0,111,59	3,732
3,540	0,083,983	3,962	0,089,675	4,115	0,095,553	4,247	0,101,62	4,360
4,152	0,080,380	4,294	0,085,828	4,437	0,091,455	4,580	0,097,260	4,724
4,464	0,077,070	4,618	0,082,293	4,772	0,087,688	4,926	0,093,254	5,080
5,125	0,071,192	5,301	0,076,018	5,478	0,081,001	5,655	0,086,143	5,832
5,831	0,066,137	6,032	0,070,619	6,233	0,075,249	6,434	0,080,025	6,635
5,977	0,065,209	6,184	0,069,629	6,390	0,074,193	6,596	0,078,903	6,802
6,582	0,061,742	6,809	0,065,927	7,036	0,070,249	7,263	0,074,708	7,490
7,380	0,057,849	7,634	0,061,813	7,889	0,065,865	8,143	0,070,046	8,398
8,222	0,054,488	8,506	0,058,177	8,789	0,061,991	9,073	0,065,926	9,356
9,111	0,051,453	9,425	0,054,940	9,739	0,058,542	10,053	0,062,258	10,367
10,044	0,048,739	10,391	0,052,042	10,737	0,055,454	11,084	0,058,974	11,430
10,627	0,047,242	10,993	0,050,444	11,360	0,053,751	11,726	0,057,163	12,092
11,024	0,046,294	11,404	0,049,432	11,784	0,052,673	12,164	0,056,016	12,544
12,049	0,044,081	12,464	0,047,069	12,880	0,050,155	13,295	0,053,338	13,711
13,119	0,042,069	13,572	0,044,920	14,024	0,047,865	14,476	0,050,903	14,929
14,235	0,040,231	14,726	0,042,957	15,217	0,045,774	15,708	0,048,679	16,199
15,397	0,038,546	15,928	0,041,158	16,459	0,043,856	16,990	0,046,640	17,521
16,604	0,036,995	17,177	0,039,503	17,749	0,042,092	18,322	0,044,764	18,894
17,857	0,035,564	18,473	0,037,974	19,088	0,040,463	19,704	0,043,032	20,320
19,155	0,034,238	19,816	0,036,559	20,476	0,038,956	21,137	0,041,429	21,797
20,499	0,033,008	21,206	0,035,245	21,913	0,037,556	22,620	0,039,939	23,326
21,888	0,031,862	22,643	0,034,022	23,398	0,036,252	24,153	0,038,553	24,907
23,323	0,030,794	24,127	0,032,881	24,932	0,035,036	25,736	0,037,260	26,540
24,058	0,030,285	24,887	0,032,338	25,717	0,034,458	26,547	0,036,645	27,376
24,804	0,029,793	25,659	0,031,813	26,514	0,033,898	27,370	0,036,050	28,225
26,330	0,028,856	27,238	0,030,812	28,146	0,032,832	29,054	0,034,916	29,961
27,901	0,027,976	28,863	0,029,872	29,826	0,031,830	30,788	0,033,851	31,750
29,518	0,027,147	30,536	0,028,987	31,554	0,030,887	32,572	0,032,848	33,590
31,181	0,026,366	32,256	0,028,153	33,332	0,029,999	34,407	0,031,903	35,482
32,880	0,025,629	34,024	0,027,366	35,158	0,029,160	36,292	0,031,011	37,426
34,643	0,024,931	35,838	0,026,621	37,032	0,028,366	38,227	0,030,167	39,422
36,443	0,024,271	37,699	0,025,916	38,956	0,027,615	40,212	0,029,368	41,469
38,288	0,023,644	39,608	0,025,247	40,928	0,026,902	42,248	0,028,609	43,569
40,178	0,023,049	41,564	0,024,611	42,949	0,026,225	44,334	0,027,889	45,720
42,114	0,022,483	43,566	0,024,007	45,019	0,025,580	46,471	0,027,204	47,923
44,095	0,021,944	45,616	0,023,431	47,136	0,024,967	48,657	0,026,552	50,177
46,122	0,021,430	47,713	0,022,883	49,303	0,024,383	50,894	0,025,931	52,484
48,195	0,020,949	49,857	0,022,359	51,519	0,023,825	53,181	0,025,337	54,843
50,314	0,020,471	52,049	0,021,859	53,783	0,023,292	55,518	0,024,770	57,253
52,477	0,020,023	54,287	0,021,381	56,096	0,022,782	57,906	0,024,228	59,715
54,687	0,019,595	56,573	0,020,923	58,458	0,022,294	60,344	0,023,710	62,230
56,942	0,019,184	58,905	0,020,184	60,869	0,021,827	62,832	0,023,212	64,796
68,899	0,017,363	71,275	0,018,540	73,651	0,019,755	76,027	0,021,009	78,402
81,996	0,015,857	84,823	0,016,932	87,651	0,018,042	90,478	0,019,187	93,306
96,231	0,014,591	99,550	0,015,580	102,868	0,016,602	106,186	0,017,656	109,505
111,605	0,013,513	115,454	0,014,428	119,302	0,015,374	123,151	0,016,350	126,999
128,119	0,012,582	132,536	0,013,435	136,954	0,014,316	141,372	0,015,224	145,790
145,770	0,011,772	150,797	0,012,569	155,823	0,013,393	160,850	0,014,244	165,876
164,561	0,011,059	170,235	0,012,083	175,910	0,012,582	181,584	0,013,381	187,259
184,490	0,010,428	190,852	0,011,134	197,214	0,011,864	203,576	0,012,617	209,937
205,559	0,009,864	212,647	0,010,533	219,735	0,011,223	226,823	0,011,941	233,912
227,760	0,009,359	235,620	0,009,993	243,474	0,010,648	251,328	0,011,324	259,182

TUYAUX NEUFS.		34 CENTIMÈTRES.		35 CENTIMÈTRES.		36 CENTIMÈTRES.		37 CENTI-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mét.		mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.
0,01	0,000,079	4,163,0	0,027	4,412,4	0,027	4,668,2	0,028	4,931,1
0,02	0,000,314	1,334,0	0,107	1,413,6	0,110	1,495,6	0,113	1,579,8
0,027	0,000,573	0,844,53	0,195	0,894,94	0,200	0,946,81	0,206	1,000,1
0,03	0,000,707	0,723,14	0,240	0,766,30	0,247	0,810,72	0,254	0,856,38
0,04	0,001,257	0,480,03	0,427	0,508,68	0,440	0,538,16	0,452	0,568,48
0,05	0,001,964	0,354,11	0,668	0,375,24	0,687	0,396,99	0,707	0,419,35
0,054	0,002,290	0,319,67	0,779	0,338,75	0,802	0,358,38	0,824	0,378,57
0,06	0,002,827	0,278,47	0,961	0,295,09	0,990	0,312,19	1,018	0,329,78
0,07	0,003,848	0,228,51	1,308	0,242,15	1,347	0,256,19	1,385	0,270,62
0,08	0,005,027	0,193,27	1,709	0,204,80	1,759	0,216,68	1,810	0,228,88
0,081	0,005,153	0,190,31	1,752	0,201,67	1,804	0,213,36	1,855	0,225,38
0,09	0,006,362	0,167,18	2,163	0,177,16	2,227	0,187,42	2,290	0,197,98
0,10	0,007,854	0,147,14	2,670	0,155,92	2,749	0,164,95	2,827	0,174,25
0,108	0,009,161	0,134,19	3,115	0,142,20	3,206	0,150,31	3,298	0,158,91
0,11	0,009,503	0,131,29	3,231	0,139,12	3,326	0,147,19	3,421	0,155,48
0,12	0,011,310	0,118,46	3,845	0,125,53	3,958	0,132,80	4,072	0,140,28
0,13	0,013,273	0,107,87	4,513	0,114,31	4,646	0,120,93	4,778	0,127,75
0,135	0,014,314	0,103,24	4,867	0,109,41	5,010	0,115,75	5,153	0,122,27
0,14	0,015,394	0,098,992	5,234	0,104,90	5,388	0,110,98	5,542	0,117,23
0,15	0,017,672	0,091,443	6,008	0,096,901	6,185	0,102,52	0,362	0,108,29
0,16	0,020,106	0,084,919	6,836	0,090,019	7,037	0,095,237	7,238	0,100,60
0,162	0,020,612	0,083,757	7,008	0,088,757	7,214	0,093,901	7,420	0,099,190
0,17	0,022,698	0,079,304	7,717	0,084,038	7,944	0,088,909	8,171	0,093,917
0,18	0,025,447	0,074,355	8,652	0,078,793	8,906	0,083,360	9,161	0,088,056
0,19	0,028,353	0,069,982	9,640	0,074,159	9,924	0,078,457	10,207	0,082,876
0,20	0,031,416	0,066,049	10,681	0,070,033	10,996	0,074,092	11,310	0,078,266
0,21	0,034,636	0,062,602	11,776	0,066,339	12,123	0,070,184	12,469	0,074,137
0,216	0,036,644	0,060,660	12,459	0,064,302	12,825	0,068,029	13,192	0,071,861
0,22	0,038,013	0,059,463	12,925	0,063,012	13,305	0,066,664	13,685	0,070,419
0,23	0,041,548	0,056,620	14,126	0,059,999	14,542	0,063,477	14,957	0,067,052
0,24	0,045,239	0,054,035	15,381	0,057,261	15,834	0,060,579	16,286	0,063,992
0,25	0,049,088	0,051,674	16,690	0,054,759	17,181	0,057,932	17,672	0,061,195
0,26	0,053,093	0,049,510	18,052	0,052,465	18,583	0,055,506	19,114	0,058,632
0,27	0,057,256	0,047,518	19,467	0,050,355	20,039	0,053,273	20,612	0,056,274
0,28	0,061,575	0,045,679	20,936	0,048,406	21,551	0,051,211	22,107	0,054,096
0,29	0,066,052	0,043,977	22,458	0,046,602	23,118	0,049,303	23,779	0,052,081
0,30	0,070,686	0,042,397	24,033	0,044,927	24,740	0,047,531	25,447	0,050,209
0,31	0,075,477	0,040,925	25,662	0,043,368	26,417	0,045,882	27,172	0,048,466
0,32	0,080,425	0,039,553	27,344	0,041,913	28,149	0,044,343	28,953	0,046,840
0,325	0,082,958	0,038,900	28,206	0,041,222	29,035	0,043,611	29,865	0,046,067
0,33	0,085,530	0,038,268	29,080	0,040,552	29,936	0,042,902	30,791	0,045,319
0,34	0,090,792	0,037,064	30,869	0,039,276	31,777	0,041,553	32,685	0,043,893
0,35	0,096,212	0,035,933	32,712	0,038,078	33,674	0,040,285	34,636	0,042,554
0,36	0,101,788	0,034,869	34,608	0,036,950	35,626	0,039,002	36,644	0,041,294
0,37	0,107,521	0,033,866	36,557	0,035,887	37,632	0,037,967	38,708	0,040,106
0,38	0,113,412	0,032,919	38,560	0,034,883	39,694	0,036,905	40,828	0,038,984
0,39	0,119,459	0,032,023	40,616	0,033,934	41,811	0,035,901	43,005	0,037,923
0,40	0,125,664	0,031,174	42,726	0,033,035	43,982	0,034,950	45,239	0,036,918
0,41	0,132,026	0,030,370	44,889	0,032,182	46,209	0,034,047	47,529	0,035,965
0,42	0,138,545	0,029,605	47,105	0,031,372	48,491	0,033,191	49,876	0,035,060
0,43	0,145,221	0,028,878	49,375	0,030,602	50,827	0,032,375	52,280	0,034,199
0,44	0,152,053	0,028,186	51,698	0,029,868	53,219	0,031,599	54,739	0,033,379
0,45	0,159,043	0,027,526	54,075	0,029,169	55,665	0,030,860	57,255	0,032,598
0,46	0,166,191	0,026,896	56,505	0,028,501	58,167	0,030,153	59,829	0,031,852
0,47	0,173,495	0,026,294	58,986	0,027,864	60,723	0,029,479	62,458	0,031,139
0,48	0,180,956	0,025,719	61,525	0,027,254	63,335	0,028,834	65,144	0,030,458
0,49	0,188,575	0,025,168	64,116	0,026,670	66,001	0,028,216	67,887	0,029,806
0,50	0,196,350	0,024,640	66,759	0,026,111	68,723	0,027,624	70,686	0,029,181
0,55	0,237,583	0,022,302	80,778	0,023,633	83,154	0,025,002	85,530	0,026,411
0,60	0,282,744	0,020,368	96,133	0,021,583	98,960	0,022,834	101,788	0,024,120
0,65	0,331,832	0,018,782	112,824	0,019,860	116,141	0,021,012	119,460	0,022,195
0,70	0,384,846	0,017,336	130,848	0,018,392	134,696	0,019,458	138,543	0,020,554
0,75	0,441,788	0,016,161	150,208	0,017,125	154,626	0,018,118	159,044	0,019,139
0,80	0,502,656	0,015,120	170,903	0,016,022	175,930	0,016,951	180,956	0,017,906
0,85	0,567,451	0,014,204	192,933	0,015,052	198,608	0,015,925	204,282	0,016,822
0,90	0,636,174	0,013,394	216,299	0,014,193	222,661	0,015,016	229,023	0,015,862
0,95	0,708,823	0,012,670	241,000	0,013,426	248,088	0,014,205	255,176	0,015,005
1,00	0,785,400	0,012,021	267,036	0,012,739	274,890	0,013,477	282,744	0,014,236

VITESSES.

MÈTRES.	38 CENTIMÈTRES.		39 CENTIMÈTRES.		40 CENTIMÈTRES.		41 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.
0,029	5,201,3	0,030	5,478,6	0,031	5,763,20	0,031	6,055,0	0,032
0,116	1,666,4	0,119	1,755,2	0,123	1,846,40	0,126	1,939,9	0,129
0,212	1,054,9	0,218	1,111,2	0,223	1,168,90	0,229	1,228,1	0,235
0,262	0,903,30	0,269	0,951,47	0,276	1,000,88	0,283	1,051,6	0,290
0,463	0,599,02	0,478	0,631,59	0,490	0,664,40	0,503	0,698,04	0,515
0,726	0,442,33	0,746	0,465,91	0,766	0,490,11	0,785	0,514,92	0,805
0,847	0,399,31	0,870	0,420,60	0,893	0,442,45	0,916	0,464,85	0,939
1,046	0,347,85	1,074	0,366,39	1,103	0,385,42	1,131	0,404,94	1,159
1,424	0,285,44	1,462	0,300,66	1,501	0,316,28	1,539	0,332,29	1,578
1,860	0,241,42	1,910	0,254,29	1,960	0,267,50	2,011	0,281,04	2,061
1,907	0,237,73	1,958	0,250,40	2,010	0,263,41	2,061	0,276,74	2,113
2,354	0,208,83	2,417	0,219,96	2,481	0,231,39	2,545	0,243,10	2,608
2,906	0,183,79	2,985	0,193,59	3,063	0,203,65	3,142	0,213,96	3,220
3,390	0,167,62	3,481	0,176,55	3,573	0,185,72	3,664	0,195,13	3,756
3,516	0,164,00	3,611	0,172,74	3,706	0,181,71	3,801	0,190,91	3,896
4,185	0,147,93	4,298	0,155,86	4,411	0,163,96	4,524	0,172,25	4,637
4,911	0,134,75	5,044	0,141,93	5,177	0,149,30	5,309	0,156,86	5,442
5,296	0,128,97	5,439	0,135,84	5,582	0,142,90	5,726	0,150,13	5,869
5,696	0,123,65	5,850	0,130,25	6,004	0,137,01	6,158	0,143,95	6,311
6,538	0,114,22	6,715	0,120,32	6,892	0,126,56	7,069	0,132,97	7,245
7,439	0,106,11	7,640	0,111,77	7,841	0,117,58	8,042	0,123,53	8,244
7,626	0,104,62	7,833	0,110,20	8,039	0,115,93	8,245	0,121,80	8,451
8,398	0,099,062	8,625	0,104,34	8,852	0,109,76	9,079	0,115,32	9,306
9,415	0,092,880	9,670	0,097,832	9,924	0,102,91	10,179	0,108,12	10,433
10,491	0,087,417	10,774	0,092,078	11,058	0,096,86	11,341	0,101,76	11,625
11,624	0,082,553	11,938	0,086,956	12,252	0,091,47	12,566	0,096,103	12,881
12,815	0,078,199	13,162	0,082,369	13,508	0,086,65	13,854	0,091,033	14,201
13,558	0,075,798	13,925	0,079,840	14,291	0,083,99	14,657	0,088,238	15,024
14,065	0,074,277	14,445	0,078,237	14,825	0,082,30	15,205	0,086,468	15,585
15,373	0,070,746	15,788	0,074,497	16,204	0,078,37	16,619	0,082,334	17,035
16,738	0,067,497	17,191	0,071,097	17,643	0,074,79	18,096	0,078,570	18,548
18,162	0,064,548	18,653	0,067,990	19,144	0,071,52	19,635	0,075,142	20,126
19,644	0,061,844	20,175	0,065,142	20,706	0,068,53	21,237	0,071,995	21,708
21,185	0,059,357	21,757	0,062,522	22,330	0,065,77	22,902	0,069,099	23,475
22,783	0,057,060	23,399	0,060,102	24,014	0,063,22	24,630	0,066,425	25,246
24,439	0,054,934	25,100	0,057,863	25,760	0,060,868	26,421	0,063,950	27,081
26,154	0,052,959	26,861	0,055,783	27,568	0,058,680	28,274	0,061,651	28,981
27,926	0,051,121	28,681	0,053,847	29,436	0,056,644	30,191	0,059,512	30,946
29,757	0,049,406	30,561	0,052,041	31,366	0,054,744	32,170	0,057,515	32,974
30,694	0,048,591	31,524	0,051,182	32,354	0,053,841	33,183	0,056,566	34,013
31,646	0,047,802	32,501	0,050,351	33,357	0,052,966	34,212	0,055,647	35,067
33,593	0,046,298	34,501	0,048,767	35,409	0,051,300	36,317	0,053,897	37,225
35,598	0,044,885	36,560	0,047,279	37,522	0,049,734	38,485	0,052,252	39,447
37,662	0,043,556	38,679	0,045,878	39,697	0,048,261	40,715	0,050,705	41,733
39,783	0,042,303	40,858	0,044,559	41,933	0,046,873	43,008	0,049,246	44,084
41,962	0,041,120	43,096	0,043,312	44,231	0,045,562	45,365	0,047,869	46,499
44,200	0,040 001	45,395	0,042,134	46,589	0,044,322	47,784	0,046,566	48,978
46,496	0,038,941	47,752	0,041,018	49,009	0,043,148	50,266	0,045,332	51,522
48,850	0,037,936	50,170	0,039,959	51,490	0,042,034	52,810	0,044,162	54,131
51,262	0,036,981	52,647	0,038,953	54,033	0,040,976	55,418	0,043,050	56,803
53,732	0,036,072	55,184	0,037,996	56,636	0,039,970	58,088	0,041,993	59,541
56,260	0,035,208	57,780	0,037,085	59,301	0,039,012	60,821	0,040,987	62,342
58,846	0,034,384	60,436	0,036,217	62,027	0,038,099	63,617	0,040,027	65,208
61,491	0,033,597	63,153	0,035,388	64,814	0,037,226	66,476	0,039,111	68,138
64,193	0,032,845	65,928	0,034,597	67,663	0,036,394	69,398	0,038,236	71,133
66,954	0,032,127	68,763	0,033,840	70,573	0,035,597	72,382	0,037,399	74,192
69,773	0,031,439	71,659	0,033,115	73,544	0,034,835	75,430	0,036,598	77,316
72,650	0,030,779	74,613	0,032,420	76,577	0,034,104	78,540	0,035,831	80,504
87,906	0,027,858	90,282	0,029,343	92,657	0,030,867	95,033	0,032,430	97,409
104,615	0,025,442	107,443	0,026,798	110,270	0,028,190	113,098	0,029,618	115,925
122,778	0,023,411	126,096	0,024,659	129,414	0,025,940	132,733	0,027,253	136,051
142,393	0,021,680	146,241	0,022,836	150,090	0,024,022	153,938	0,025,239	157,787
163,462	0,020,187	167,879	0,021,264	172,297	0,022,368	176,715	0,023,500	181,133
185,983	0,018,887	191,009	0,019,894	196,036	0,020,927	201,062	0,021,987	206,089
209,957	0,017,743	215,631	0,018,689	221,306	0,019,660	226,980	0,020 655	232,655
235,384	0,016,731	241,746	0,017,623	248,108	0,018,538	254,470	0,019,476	260,831
262,265	0,015,827	269,353	0,016,671	276,441	0,017,537	283,529	0,018,424	290,617
290,598	0,015,016	298,452	0,015,817	306,306	0,016,638	314,160	0,017,480	322,014

TUYAUX NEUFS		42 CENTIMÈTRES.		43 CENTIMÈTRES.		44 CENTIMÈTRES.		45 CENTI-
DIAMÈTRES	SECTIONS	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	6,353,9	0,033	6,660,1	0,034	6,973,5	0,035	7,294,0
0,02	0,000,314	2,035,7	0,132	2,133,7	0,135	2,234,1	0,138	2,336,9
0,027	0,000,573	1,288,7	0,240	1,350,8	0,246	1,414,4	0,252	1,479,4
0,03	0,000,707	1,103,5	0,297	1,156,6	0,304	1,211,1	0,311	1,266,7
0,04	0,001,257	0,732,50	0,528	0,767,80	0,540	0,803,92	0,553	0,840,88
0,05	0,001,964	0,540,35	0,825	0,566,39	0,844	0,593,04	0,864	0,620,30
0,054	0,002,290	0,487,80	0,962	0,511,30	0,985	0,535,36	1,008	0,559,97
0,06	0,002,827	0,424,93	1,188	0,445,41	1,216	0,466,36	1,244	0,487,80
0,07	0,003,848	0,348,70	1,616	0,365,50	1,655	0,381,70	1,693	0,400,29
0,08	0,005,027	0,294,92	2,111	0,309,13	2,161	0,323,67	2,212	0,338,55
0,081	0,005,153	0,290,41	2,164	0,304,40	2,216	0,318,72	2,267	0,333,38
0,09	0,006,362	0,255,11	2,672	0,267,40	2,736	0,279,98	2,799	0,292,85
0,10	0,007,854	0,224,52	3,299	0,235,34	3,377	0,246,41	3,456	0,257,74
0,108	0,009,161	0,204,76	3,848	0,214,63	3,939	0,224,73	4,031	0,235,06
0,11	0,009,503	0,200,34	3,991	0,209,99	4,086	0,219,87	4,181	0,229,98
0,12	0,011,310	0,180,76	4,750	0,189,47	4,863	0,198,39	4,976	0,207,51
0,13	0,013,273	0,164,61	5,575	0,172,54	5,708	0,180,66	5,840	0,188,96
0,135	0,014,314	0,157,54	6,012	0,165,14	6,155	0,172,91	6,298	0,180,86
0,14	0,015,394	0,151,06	6,465	0,158,34	6,619	0,165,79	6,773	0,173,41
0,15	0,017,672	0,139,54	7,422	0,146,26	7,599	0,153,14	7,775	0,160,18
0,16	0,020,106	0,129,63	8,445	0,135,87	8,646	0,142,27	8,847	0,148,81
0,162	0,020,612	0,127,81	8,657	0,133,97	8,863	0,140,27	9,069	0,146,72
0,17	0,022,698	0,121,01	9,533	0,126,85	9,760	0,132,81	9,987	0,138,92
0,18	0,025,447	0,113,46	10,688	0,118,93	10,942	0,124,53	11,177	0,130,25
0,19	0,028,353	0,106,79	11,908	0,111,93	12,192	0,117,20	12,475	0,122,59
0,20	0,031,416	0,100,85	13,195	0,105,71	13,509	0,110,68	13,823	0,115,77
0,21	0,034,636	0,095,348	14,547	0,100,13	14,894	0,104,84	15,240	0,109,66
0,216	0,036,644	0,092,595	15,390	0,097,057	15,757	0,101,62	16,123	0,106,30
0,22	0,038,013	0,090,737	15,966	0,095,109	16,346	0,099,584	16,726	0,104,16
0,23	0,041,548	0,086,399	17,450	0,090,562	17,865	0,094,824	18,281	0,099,183
0,24	0,045,239	0,082,435	19,000	0,086,428	19,453	0,090,495	19,905	0,094,655
0,25	0,049,088	0,078,852	20,617	0,082,652	21,108	0,086,541	21,599	0,090,519
0,26	0,053,093	0,075,549	22,299	0,079,190	22,830	0,082,916	23,361	0,086,728
0,27	0,057,256	0,072,511	24,047	0,076,005	24,620	0,079,581	25,193	0,083,239
0,28	0,061,575	0,069,704	25,862	0,073,063	26,477	0,076,501	27,093	0,080,018
0,29	0,066,052	0,067,107	27,742	0,070,341	28,402	0,073,651	29,063	0,077,037
0,30	0,070,686	0,064,695	29,688	0,067,813	30,395	0,071,003	31,102	0,074,268
0,31	0,075,477	0,062,450	31,700	0,065,459	32,455	0,068,539	33,210	0,071,690
0,32	0,080,425	0,060,355	33,778	0,063,264	34,583	0,066,240	35,387	0,069,285
0,325	0,082,958	0,059,359	34,842	0,062,220	35,672	0,065,147	36,501	0,068,142
0,33	0,085,530	0,058,395	35,923	0,061,209	36,778	0,064,089	37,633	0,067,035
0,34	0,090,792	0,056,558	38,133	0,059,283	39,041	0,062,073	39,949	0,064,926
0,35	0,096,212	0,054,852	40,409	0,057,474	41,371	0,060,179	42,333	0,062,945
0,36	0,101,788	0,053,208	42,751	0,055,772	43,769	0,058,396	44,787	0,061,081
0,37	0,107,521	0,051,678	45,159	0,054,168	46,234	0,056,716	47,309	0,059,324
0,38	0,113,412	0,050,232	47,633	0,052,653	48,767	0,055,130	49,901	0,057,665
0,39	0,119,459	0,048,866	50,173	0,051,220	51,367	0,053,630	52,562	0,056,096
0,40	0,125,664	0,047,571	52,779	0,049,863	54,036	0,052,209	55,292	0,054,609
0,41	0,132,026	0,046,342	55,451	0,048,575	56,771	0,050,861	58,091	0,053,199
0,42	0,138,545	0,045,176	58,189	0,047,353	59,574	0,049,581	60,960	0,051,860
0,43	0,145,221	0,044,066	60,993	0,046,190	62,445	0,048,363	63,897	0,050,586
0,44	0,152,053	0,043,010	63,862	0,045,083	65,383	0,047,204	66,903	0,049,374
0,45	0,159,043	0,042,004	66,798	0,044,028	68,388	0,046,099	69,979	0,048,218
0,46	0,166,191	0,041,042	69,800	0,043,020	71,462	0,045,044	73,124	0,047,115
0,47	0,173,495	0,040,124	72,868	0,042,057	74,603	0,044,036	76,338	0,046,061
0,48	0,180,956	0,039,246	76,002	0,041,137	77,811	0,043,073	79,621	0,045,053
0,49	0,188,575	0,038,406	79,202	0,040,256	81,087	0,042,150	82,973	0,044,088
0,50	0,196,350	0,037,600	82,467	0,039,412	84,431	0,041,266	86,394	0,043,163
0,55	0,237,583	0,034,031	99,785	0,035,671	102,161	0,037,349	104,537	0,039,066
0,60	0,282,744	0,031,050	118,752	0,032,578	121,580	0,034,110	124,407	0,035,678
0,65	0,331,832	0,028,599	139,369	0,029,977	142,688	0,031,388	146,006	0,032,831
0,70	0,384,846	0,026,485	161,635	0,027,761	165,484	0,029,067	169,332	0,030,403
0,75	0,441,788	0,024,661	185,551	0,025,849	189,969	0,027,065	194,387	0,028,309
0,80	0,502,656	0,023,072	211,116	0,024,184	216,142	0,025,322	221,169	0,026,486
0,85	0,567,451	0,021,675	238,329	0,022,720	244,004	0,023,789	249,678	0,024,882
0,90	0,636,174	0,020,438	267,193	0,021,423	273,555	0,022,431	279,917	0,023,462
0,95	0,708,823	0,019,334	297,706	0,020,266	304,794	0,021,219	311,882	0,022,195
1,00	0,785,400	0,018,343	329,868	0,019,227	337,722	0,020,132	345,576	0,021,055

VITESSES. MÈTRES.	46 CENTIMÈTRES.		47 CENTIMÈTRES.		48 CENTIMÈTRES.		49 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,035	7,621,8	0,036	7,956,8	0,037	8,299,0	0,038	8,648,4	0,038
0,141	2,441,9	0,145	2,549,2	0,148	2,658,8	0,151	2,770,8	0,154
0,258	1,545,9	0,263	1,613,8	0,269	1,683,2	0,275	1,754,1	0,281
0,318	1,323,7	0,325	1,381,8	0,332	1,441,3	0,339	1,502,0	0,347
0,565	0,878,67	0,578	0,917,29	0,591	0,956,74	0,603	0,997,02	0,616
0,884	0,648,17	0,903	0,676,66	0,923	0,705,76	0,942	0,735,47	0,962
1,031	0,585,14	1,054	0,610,85	1,076	0,637,12	1,099	0,663,95	1,122
1,272	0,509,72	1,301	0,532,13	1,329	0,555,01	1,357	0,578,38	1,385
1,732	0,418,28	1,770	0,436,66	1,809	0,455,44	1,847	0,474,62	1,886
2,262	0,353,77	2,312	0,369,32	2,362	0,385,20	2,413	0,401,42	2,403
2,319	0,348,36	2,370	0,363,67	2,422	0,379,31	2,473	0,395,28	2,525
2,863	0,306,01	2,926	0,319,46	2,990	0,333,20	3,054	0,347,23	3,117
3,534	0,269,32	3,613	0,281,16	3,691	0,293,25	3,770	0,305,60	3,848
4,122	0,245,62	4,214	0,256,42	4,306	0,267,44	4,397	0,278,70	4,489
4,277	0,240,32	4,372	0,250,88	4,467	0,261,67	4,562	0,272,68	4,657
5,089	0,216,83	5,202	0,226,36	5,316	0,236,09	5,429	0,246,03	5,542
5,973	0,197,00	6,106	0,206,13	6,238	0,214,99	6,371	0,224,05	6,504
6,441	0,188,98	6,584	0,197,29	6,728	0,205,77	6,871	0,214,44	7,014
6,927	0,181,20	7,081	0,189,16	7,235	0,197,30	7,389	0,205,60	7,543
7,952	0,167,38	8,129	0,174,74	8,306	0,182,25	8,482	0,189,93	8,659
9,048	0,155,49	9,249	0,162,33	9,450	0,169,31	9,651	0,176,44	9,852
9,275	0,153,31	9,482	0,160,05	9,688	0,166,93	9,894	0,173,96	10,100
10,214	0,145,16	10,441	0,151,54	10,668	0,158,06	10,895	0,164,71	11,122
11,431	0,136,10	11,686	0,142,09	11,940	0,148,20	12,215	0,154,43	12,469
12,759	0,128,10	13,042	0,133,73	13,326	0,139,48	13,609	0,145,35	13,893
14,137	0,120,97	14,451	0,126,29	14,766	0,131,72	15,080	0,137,27	15,394
15,586	0,114,59	15,933	0,119,63	16,279	0,124,77	16,625	0,130,02	16,972
16,490	0,111,07	16,856	0,115,95	17,223	0,120,94	17,589	0,126,03	17,955
17,106	0,108,84	17,486	0,113,63	17,866	0,118,51	18,246	0,123,50	18,627
18,696	0,103,64	19,112	0,105,10	19,527	0,112,85	19,943	0,117,60	20,358
20,358	0,098,909	20,810	0,103,26	21,262	0,107,70	21,715	0,112,23	22,167
22,089	0,094,587	22,580	0,098,744	23,071	0,102,99	23,562	0,107,33	24,053
23,892	0,090,625	24,423	0,094,608	24,954	0,098,677	25,485	0,102,83	26,016
25,765	0,086,980	26,338	0,090,803	26,910	0,094,708	27,483	0,098,695	28,055
27,709	0,083,614	28,325	0,087,289	28,940	0,091,043	29,556	0,094,876	30,172
29,723	0,080,498	30,384	0,084,036	31,044	0,087,651	31,705	0,091,341	32,366
31,809	0,077,605	32,516	0,081,016	33,222	0,084,500	33,929	0,088,057	34,636
33,965	0,074,912	34,719	0,078,204	35,474	0,081,568	36,229	0,085,002	36,984
36,191	0,072,390	36,995	0,075,581	37,800	0,078,831	38,604	0,082,150	39,408
37,331	0,071,204	38,161	0,074,334	38,990	0,077,531	39,820	0,080,795	40,649
38,489	0,070,047	39,344	0,073,126	40,199	0,076,271	41,054	0,079,482	41,910
40,856	0,067,844	41,764	0,070,826	42,672	0,073,872	43,580	0,076,982	44,488
43,295	0,065,774	44,257	0,068,665	45,219	0,071,618	46,182	0,074,633	47,144
45,805	0,063,826	46,822	0,066,631	47,840	0,069,496	48,858	0,072,422	49,876
48,385	0,061,990	49,460	0,064,714	50,535	0,067,497	51,610	0,070,339	52,685
51,035	0,060,256	52,169	0,062,904	53,304	0,065,609	54,438	0,068,372	55,572
53,757	0,058,610	54,951	0,061,193	56,146	0,063,824	57,340	0,066,511	58,535
56,549	0,057,063	57,805	0,059,571	59,062	0,062,133	60,319	0,064,749	61,575
59,412	0,055,590	60,732	0,058,033	62,052	0,060,529	63,372	0,063,077	64,693
62,345	0,054,191	63,731	0,056,573	65,116	0,059,005	66,502	0,061,490	67,887
65,349	0,052,860	66,802	0,055,183	68,254	0,057,556	69,706	0,059,979	71,158
68,424	0,051,593	69,944	0,053,860	71,465	0,056,177	72,985	0,058,542	74,506
71,569	0,050,385	73,160	0,052,600	74,750	0,054,862	76,341	0,057,172	77,931
74,786	0,049,232	76,448	0,051,396	78,110	0,053,606	79,772	0,055,863	81,434
78,073	0,048,130	79,808	0,050,246	81,543	0,052,407	83,278	0,054,613	85,013
81,430	0,047,077	83,240	0,049,147	85,049	0,051,260	86,859	0,053,418	88,668
84,859	0,046,069	86,745	0,048,094	88,630	0,050,162	90,516	0,052,274	92,402
88,358	0,045,103	90,321	0,047,085	92,285	0,049,110	94,248	0,051,178	96,212
106,912	0,040,822	109,288	0,042,616	111,664	0,044,449	114,040	0,046,320	116,416
127,235	0,037,282	130,062	0,038,034	132,890	0,040,594	135,717	0,042,303	138,545
149,324	0,034,306	152,643	0,035,814	155,961	0,037,354	159,279	0,038,926	162,598
173,181	0,031,770	177,029	0,033,166	180,878	0,034,592	184,720	0,036,049	188,575
198,805	0,029,582	203,222	0,030,882	207,640	0,032,210	212,058	0,033,566	216,476
226,195	0,027,676	231,222	0,028,893	236,248	0,030,135	241,275	0,031,404	246,301
255,353	0,026,000	261,027	0,027,143	266,702	0,028,310	272,376	0,029,502	278,051
286,278	0,024,510	292,640	0,025,594	299,002	0,026,695	305,364	0,027,819	311,725
318,970	0,023,192	326,059	0,024,212	333,147	0,025,253	340,235	0,026,316	347,323
353,430	0,022,004	361,284	0,022,971	369,138	0,023,959	376,992	0,024,968	384,846

TUYAUX NEUFS.		50 CENTIMÈTRES.		52 CENTIMÈTRES.		54 CENTIMÈTRES.		56 CENTI-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	9,005	0,039	9,739,8	0,041	10,503	0,042	11,296
0,02	0,000,314	2,885	0,157	3,120,4	0,163	3,365,1	0,170	3,618,9
0,027	0,000,573	1,826,4	0,286	1,975,4	0,298	2,130,3	0,309	2,291,0
0,03	0,000,707	1,563,9	0,353	1,691,5	0,366	1,824,1	0,382	1,961,7
0,04	0,001,257	1,038,1	0,628	1,122,8	0,653	1,210,9	0,679	1,302,2
0,05	0,001,964	0,765,8	0,982	0,828,29	1,021	0,893,23	1,060	0,960,62
0,054	0,002,290	0,691,3	1,145	0,747,74	1,191	0,806,36	1,237	0,867,20
0,06	0,002,827	0,602,2	1,414	0,651,37	1,470	0,702,44	1,527	0,755,43
0,07	0,003,848	0,494,2	1,924	0,534,51	2,001	0,576,42	2,078	0,619,91
0,08	0,005,027	0,418,0	2,513	0,452,07	2,613	0,487,52	2,714	0,524,30
0,081	0,005,153	0,411,6	2,577	0,445,16	2,679	0,480,06	2,783	0,516,28
0,09	0,006,362	0,361,6	3,181	0,391,05	3,308	0,421,71	3,435	0,453,52
0,10	0,007,854	0,318,2	3,927	0,344,17	4,084	0,371,15	4,241	0,399,15
0,108	0,009,161	0,290,20	4,580	0,313,87	4,763	0,338,48	4,947	0,364,02
0,11	0,009,503	0,283,93	4,752	0,307,10	4,941	0,331,17	5,131	0,356,16
0,12	0,011,310	0,256,18	5,655	0,277,08	5,881	0,298,81	6,107	0,321,35
0,13	0,013,273	0,233,29	6,637	0,252,32	6,902	0,272,10	7,167	0,292,63
0,135	0,014,314	0,223,28	7,157	0,241,50	7,443	0,260,43	7,729	0,280,08
0,14	0,015,394	0,214,08	7,697	0,231,55	8,005	0,249,71	8,313	0,268,54
0,15	0,017,672	0,197,76	8,836	0,213,89	9,189	0,230,66	9,543	0,248,07
0,16	0,020,106	0,183,71	10,053	0,198,70	10,455	0,214,28	10,857	0,230,45
0,162	0,020,612	0,181,14	10,306	0,195,92	10,718	0,211,28	11,130	0,227,22
0,17	0,022,698	0,171,51	11,349	0,185,50	11,803	0,200,04	12,257	0,215,14
0,18	0,025,447	0,160,80	12,723	0,173,92	13,232	0,187,56	13,741	0,201,71
0,19	0,028,353	0,151,35	14,176	0,163,69	14,743	0,176,53	15,310	0,189,85
0,20	0,031,416	0,142,93	15,708	0,154,59	16,336	0,166,71	16,965	0,179,29
0,21	0,034,636	0,135,39	17,318	0,146,43	18,011	0,157,91	18,703	0,169,83
0,216	0,036,644	0,131,25	18,322	0,141,94	19,055	0,153,07	19,787	0,164,61
0,22	0,038,013	0,128,60	19,007	0,139,09	19,767	0,149,99	20,527	0,161,31
0,23	0,041,548	0,122,45	20,774	0,132,44	21,605	0,142,82	22,435	0,153,60
0,24	0,045,239	0,116,86	22,620	0,126,39	23,524	0,136,50	24,429	0,146,59
0,25	0,049,088	0,111,75	24,544	0,120,87	25,525	0,130,35	26,507	0,140,18
0,26	0,053,093	0,107,07	26,547	0,115,81	27,608	0,124,89	28,670	0,134,31
0,27	0,057,256	0,102,77	28,628	0,111,15	29,773	0,119,86	30,918	0,128,91
0,28	0,061,575	0,098,788	30,788	0,106,85	32,019	0,115,23	33,251	0,123,92
0,29	0,066,052	0,095,107	33,026	0,102,87	34,347	0,110,93	35,668	0,119,30
0,30	0,070,686	0,091,688	35,343	0,099,170	36,757	0,106,95	38,170	0,115,01
0,31	0,075,477	0,088,507	37,738	0,095,720	39,248	0,103,23	40,757	0,111,02
0,32	0,080,425	0,085,54	40,212	0,092,517	41,821	0,099,771	43,429	0,107,30
0,325	0,082,958	0,084,126	41,479	0,090,991	43,138	0,098,125	44,797	0,105,53
0,33	0,085,530	0,082,759	42,765	0,089,512	44,475	0,096,530	46,186	0,103,81
0,34	0,090,792	0,080,156	45,396	0,086,697	47,211	0,093,494	49,027	0,100,55
0,35	0,096,212	0,077,710	48,106	0,084,051	50,029	0,090,641	51,954	0,097,479
0,36	0,101,788	0,075,408	50,894	0,081,562	52,929	0,087,956	54,965	0,094,592
0,37	0,107,521	0,073,239	53,761	0,079,216	55,911	0,085,426	58,061	0,091,871
0,38	0,113,412	0,071,191	56,706	0,077,000	58,974	0,083,037	61,242	0,089,302
0,39	0,119,459	0,069,254	59,730	0,074,905	62,119	0,080,778	64,508	0,086,872
0,40	0,125,664	0,067,419	62,832	0,072,920	65,345	0,078,637	67,858	0,084,570
0,41	0,132,026	0,065,678	66,013	0,071,037	68,653	0,076,607	71,294	0,082,387
0,42	0,138,545	0,064,025	69,273	0,069,249	72,043	0,074,679	74,814	0,080,313
0,43	0,145,221	0,062,450	72,611	0,067,548	75,515	0,072,844	78,410	0,078,349
0,44	0,152,053	0,060,956	76,027	0,065,930	79,067	0,071,099	82,109	0,076,463
0,45	0,159,043	0,059,529	79,522	0,064,386	82,702	0,069,435	85,883	0,074,673
0,46	0,166,191	0,058,166	83,096	0,062,913	86,419	0,067,845	89,743	0,072,964
0,47	0,173,495	0,056,865	86,748	0,061,505	90,217	0,066,327	93,687	0,071,331
0,48	0,180,956	0,055,621	90,478	0,060,159	94,097	0,064,876	97,716	0,069,771
0,49	0,188,575	0,054,430	94,288	0,058,871	98,059	0,063,487	101,830	0,068,276
0,50	0,196,350	0,053,288	98,175	0,057,636	102,102	0,062,155	106,029	0,066,844
0,55	0,237,583	0,048,230	118,792	0,052,166	123,543	0,056,255	128,295	0,060,500
0,60	0,282,744	0,044,070	141,372	0,047,642	147,027	0,051,377	152,681	0,055,253
0,65	0,331,832	0,040,531	165,916	0,043,839	172,553	0,047,276	179,189	0,050,843
0,70	0,384,846	0,037,530	192,423	0,040,598	200,119	0,043,781	207,817	0,047,084
0,75	0,441,788	0,034,950	220,894	0,037,802	229,729	0,040,766	238,565	0,043,841
0,80	0,502,656	0,032,609	251,328	0,035,367	261,381	0,038,140	271,434	0,041,017
0,85	0,567,451	0,030,719	283,726	0,033,225	295,074	0,035,830	306,423	0,038,534
0,90	0,636,174	0,028,965	318,087	0,031,329	330,810	0,033,785	343,533	0,036,334
0,95	0,708,823	0,027,401	354,412	0,029,637	368,587	0,031,961	382,764	0,034,372
1,00	0,785,400	0,025,997	392,700	0,028,118	408,408	0,030,323	424,116	0,032,611

VITESSES. MÈTRES.	58 CENTIMÈTRES.		60 CENTIMÈTRES.		62 CENTIMÈTRES.		64 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,044	12,117	0,046	12,967	0,047	13,846	0,049	14,734	0,050
0,176	3,882,1	0,182	4,154	0,188	4,436,0	0,195	4,726,8	0,201
0,321	2,457,6	0,332	2,630	0,344	2,808,3	0,355	2,992,4	0,366
0,396	2,104,4	0,410	2,252	0,424	2,404,6	0,438	2,562,3	0,452
0,704	1,308,9	0,729	1,494,9	0,754	1,396,2	0,779	1,700,9	0,804
1,100	1,030,5	1,139	1,102,75	1,178	1,177,5	1,217	1,254,7	1,257
1,283	0,930,25	1,328	0,995,51	1,374	1,063,0	1,420	1,132,7	1,466
1,583	0,810,35	1,640	0,867,20	1,696	0,925,98	1,753	0,986,69	1,810
2,155	0,664,98	2,232	0,711,63	2,309	0,759,86	2,386	0,809,87	2,463
2,815	0,562,42	2,915	0,601,87	3,010	0,642,67	3,116	0,684,80	3,217
2,885	0,553,81	2,989	0,592,87	3,092	0,632,84	3,195	0,674,32	3,297
3,562	0,488,49	3,689	0,520,62	3,817	0,555,91	3,944	0,592,35	4,071
4,398	0,428,17	4,555	0,458,21	4,712	0,489,26	4,869	0,521,34	5,026
5,130	0,390,49	5,313	0,417,88	5,497	0,448,20	5,879	0,475,45	5,863
5,321	0,382,05	5,511	0,408,86	5,702	0,436,57	5,892	0,465,19	6,082
6,333	0,344,71	6,559	0,368,90	6,786	0,393,90	7,012	0,419,72	7,238
7,433	0,313,91	7,698	0,335,93	7,964	0,358,70	8,229	0,382,21	8,495
8,015	0,300,44	8,304	0,321,52	8,588	0,343,31	8,875	0,365,82	9,161
8,620	0,288,07	8,928	0,308,28	9,236	0,329,17	9,544	0,350,75	9,852
9,896	0,268,10	10,249	0,284,77	10,603	0,304,07	10,956	0,324,00	11,309
11,259	0,247,20	11,661	0,264,55	12,064	0,282,48	12,465	0,300,99	12,867
11,543	0,243,74	11,955	0,260,84	12,367	0,278,51	12,779	0,296,77	13,191
12,711	0,230,78	13,165	0,246,97	13,619	0,263,71	14,073	0,281,00	14,527
14,250	0,216,38	14,759	0,231,56	15,268	0,247,25	15,777	0,263,46	10,286
15,877	0,203,65	16,445	0,217,94	17,012	0,232,71	17,579	0,247,96	18,145
17,593	0,192,32	18,221	0,205,81	18,850	0,219,76	19,477	0,234,17	20,100
19,396	0,182,18	20,089	0,194,96	20,782	0,208,17	21,474	0,221,82	22,167
20,520	0,176,58	21,253	0,188,97	21,986	0,201,78	22,719	0,215,01	23,451
21,287	0,173,04	22,047	0,185,18	22,808	0,197,73	23,568	0,210,69	24,328
23,267	0,164,77	24,097	0,176,32	24,929	0,188,28	25,759	0,200,62	26,590
25,333	0,157,24	26,239	0,168,28	27,143	0,179,08	28,048	0,191,46	28,953
27,489	0,150,37	28,471	0,160,92	29,453	0,171,83	30,434	0,183,09	31,416
29,732	0,144,07	30,793	0,154,18	31,856	0,164,83	32,917	0,175,43	33,979
32,063	0,138,28	33,208	0,147,98	34,353	0,158,01	35,498	0,168,37	36,043
34,482	0,132,93	35,713	0,142,25	36,945	0,151,90	38,177	0,161,85	39,408
36,989	0,127,98	38,310	0,136,95	39,631	0,146,24	40,952	0,155,82	42,273
39,584	0,123,38	40,997	0,132,03	42,412	0,140,98	43,825	0,150,22	45,239
42,267	0,119,09	43,777	0,127,45	45,286	0,136,09	46,795	0,145,01	48,305
45,037	0,115,10	48,040	0,123,17	48,255	0,131,52	49,863	0,140,14	51,471
46,456	0,113,20	48,115	0,121,14	49,775	0,129,35	51,433	0,137,83	53,093
47,897	0,111,36	49,007	0,119,17	51,318	0,127,25	53,029	0,135,59	54,739
50,843	0,107,86	52,059	0,115,42	54,478	0,123,25	56,291	0,131,33	58,107
53,878	0,104,57	55,803	0,111,90	57,727	0,119,49	59,051	0,127,32	61,575
57,001	0,101,47	59,037	0,108,59	61,073	0,115,95	63,108	0,123,55	65,144
60,211	0,098,551	62,382	0,105,46	64,513	0,112,61	66,663	0,120,00	68,813
63,510	0,095,794	65,779	0,102,51	68,047	0,109,46	70,315	0,116,64	72,583
66,897	0,093,188	69,286	0,099,725	71,876	0,106,48	74,065	0,113,47	76,453
70,371	0,090,719	72,885	0,097,083	75,398	0,103,60	77,911	0,110,46	80,425
73,934	0,088,378	76,575	0,094,570	79,210	0,100,99	81,856	0,107,61	84,497
77,585	0,086,152	80,356	0,092,196	83,127	0,098,445	85,897	0,104,90	88,869
81,323	0,084,030	84,228	0,089,932	87,133	0,096,027	90,037	0,102,32	92,941
85,149	0,082,022	88,191	0,087,776	91,232	0,093,725	94,273	0,099,870	97,313
89,064	0,080,102	92,245	0,085,722	95,426	0,091,532	98,607	0,097,532	101,787
93,067	0,078,269	96,391	0,083,759	99,715	0,089,437	103,038	0,095,300	106,362
97,157	0,076,517	100,027	0,081,886	104,097	0,087,435	107,507	0,093,167	111,037
101,335	0,074,843	104,954	0,080,094	108,574	0,085,523	112,193	0,091,129	115,811
105,602	0,073,240	109,373	0,078,378	113,145	0,083,691	116,916	0,089,177	120,688
109,956	0,071,704	113,883	0 076,735	117,810	0,081,936	121,737	0,087,307	125,664
133,046	0,064,898	137,798	0,069,451	142,550	0,074,158	147,301	0,079,020	152,053
158,337	0,059,270	163,991	0,063,428	169,646	0,067,727	175,301	0,072,167	180,956
185,825	0,054,539	192,402	0,058,365	199,009	0,062,321	205,735	0,066,407	212,372
215,513	0,050,507	223,211	0,054,050	230,908	0,057,714	238,604	0,061,497	248,301
247,401	0,047,029	256,237	0,950,328	265,073	0,053,739	273,908	0,057,262	282,744
281,487	0,043,999	291,540	0,047,086	301,594	0,050,278	311,047	0,053,574	321,699
317,772	0,041,335	329,121	0,044,235	340,471	0,047,233	351,819	0,050,330	363,169
356,257	0,038,978	368,981	0,041,710	381,704	0,044,537	394,427	0,047,457	407,151
396,941	0,036,871	411,117	0,039,457	425,294	0,042,132	439,470	0,044,894	453,647
439,824	0,034,982	455,532	0,037,436	471,240	0,039,973	486,948	0,042,593	502,656

TUYAUX NEUFS.		66 CENTIMÈTRES.		68 CENTIMÈTRES.		70 CENTIMÈTRES.		72 CENTI-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	15,690	0,052	16,656	0,053	17,650	0,055	18,673
0,02	0,000,314	5,026,8	0,207	5,336,1	0,214	5,654,6	0,220	5,982,3
0,027	0,000,573	3,182,3	0,378	3,378,1	0,389	3,579,8	0,401	3,787,2
0,03	0,000,707	2,724,9	0,467	2,892,6	0,481	3,065,2	0,495	3,242,9
0,04	0,001,257	1,808,8	0,829	1,920,1	0,855	2,034,7	0,880	2,152,7
0,05	0,001,964	1,334,3	1,296	1,416,4	1,335	1,501,0	1,374	1,588,0
0,054	0,002,290	1,204,6	1,512	1,278,7	1,557	1,355,0	1,603	1,433,5
0,06	0,002,827	1,049,3	1,866	1,113,9	1,923	1,180,4	1,979	1,248,8
0,07	0,003,848	0,861,07	2,540	0,914,05	2,617	0,968,60	2,694	1,024,7
0,08	0,005,027	0,728,27	3,317	0,773,08	3,418	0,819,22	3,519	0,866,70
0,081	0,005,153	0,717,13	3,401	0,761,25	3,504	0,806,69	3,607	0,853,44
0,09	0,006,362	0,829,95	4,199	0,668,71	4,325	0,708,63	4,453	0,749,70
0,10	0,007,854	0,554,43	5,183	0,588,54	5,341	0,623,67	5,498	0,659,82
0,108	0,009,161	0,505,63	6,046	0,536,74	6,229	0,568,78	6,413	0,601,75
0,11	0,009,503	0,494,71	6,272	0,525,15	6,462	0,556,50	6,652	0,588,75
0,12	0,011,310	0,446,37	7,464	0,473,83	7,691	0,502,11	7,917	0,531,21
0,13	0,013,273	0,406,47	8,760	0,431,48	9,025	0,457,24	9,291	0,483,74
0,135	0,014,314	0,380,04	9,447	0,412,97	9,733	0,437,62	10,020	0,462,99
0,14	0,015,394	0,373,02	10,150	0,395,97	10,467	0,419,60	10,776	0,443,92
0,15	0,017,672	0,344,57	11,663	0,365,77	12,017	0,387,60	12,370	0,410,07
0,16	0,020,106	0,320,10	13,270	0,339,79	13,672	0,360,08	14,074	0,380,95
0,162	0,020,612	0,315,61	13,603	0,335,03	14,016	0,355,03	14,428	0,375,60
0,17	0,022,698	0,298,83	14,981	0,317,22	15,435	0,336,15	15,889	0,355,63
0,18	0,025,447	0,280,18	16,795	0,297,42	17,303	0,315,17	17,813	0,333,44
0,19	0,028,353	0,263,70	18,713	0,279,93	19,279	0,296,64	19,847	0,313,83
0,20	0,031,416	0,249,03	20,734	0,264,29	21,363	0,280,13	21,991	0,296,37
0,21	0,034,636	0,235,90	22,859	0,250,41	23,552	0,265,36	24,245	0,280,74
0,216	0,036,644	0,228,65	24,185	0,242,72	24,917	0,257,21	25,651	0,272,12
0,22	0,038,013	0,224,06	25,089	0,237,85	25,849	0,252,05	26,609	0,266,66
0,23	0,041,548	0,213,35	27,121	0,226,48	28,252	0,240,00	29,083	0,253,01
0,24	0,045,239	0,203,61	29,857	0,216,14	30,762	0,229,04	31,667	0,242,32
0,25	0,049,088	0,194,72	32,397	0,206,70	33,379	0,219,03	34,361	0,231,73
0,26	0,053,093	0,186,56	35,041	0,198,04	36,103	0,209,86	37,165	0,222,02
0,27	0,057,256	0,179,06	37,789	0,190,07	38,933	0,201,42	40,079	0,213,09
0,28	0,061,575	0,172,13	40,639	0,182,72	41,871	0,193,62	43,103	0,204,85
0,29	0,066,052	0,165,71	43,594	0,175,91	44,915	0,186,41	46,236	0,197,21
0,30	0,070,686	0,159,76	46,653	0,169,59	48,066	0,179,71	49,480	0,190,12
0,31	0,075,477	0,154,21	49,815	0,163,70	51,324	0,173,48	52,834	0,183,53
0,32	0,080,425	0,149,04	53,080	0,158,21	54,689	0,167,65	56,297	0,177,37
0,325	0,082,958	0,146,58	54,752	0,155,60	56,411	0,164,89	58,071	0,174,44
0,33	0,085,530	0,144,20	56,449	0,153,07	58,160	0,162,21	59,871	0,171,61
0,34	0,090,792	0,139,66	59,923	0,148,26	61,739	0,157,11	63,555	0,166,21
0,35	0,096,212	0,135,40	63,499	0,143,73	65,423	0,152,31	67,348	0,161,14
0,36	0,101,788	0,131,39	67,179	0,139,48	69,215	0,147,80	71,251	0,156,37
0,37	0,107,521	0,127,61	70,964	0,135,46	73,114	0,143,55	75,265	0,151,87
0,38	0,113,412	0,124,04	74,851	0,131,67	77,119	0,139,53	79,388	0,147,62
0,39	0,119,459	0,120,67	78,843	0,128,09	81,232	0,135,74	83,622	0,143,60
0,40	0,125,664	0,117,47	82,938	0,124,70	85,451	0,132,14	87,965	0,139,80
0,41	0,132,026	0,114,44	87,137	0,121,48	89,777	0,128,73	92,418	0,136,19
0,42	0,138,545	0,111,56	91,439	0,118,42	94,211	0,125,49	96,982	0,132,76
0,43	0,145,221	0,108,82	95,845	0,115,51	98,750	0,122,41	101,655	0,129,50
0,44	0,152,053	0,106,21	100,355	0,112,74	103,396	0,119,47	106,437	0,126,40
0,45	0,159,043	0,103,72	104,968	0,110,10	108,149	0,116,68	111,330	0,123,44
0,46	0,166,191	0,101,35	109,686	0,107,58	113,009	0,114,01	116,334	0,120,61
0,47	0,173,495	0,099,081	114,507	0,105,18	117,977	0,111,46	121,447	0,117,92
0,48	0,180,956	0,096,914	119,431	0,102,88	123,050	0,109,02	126,669	0,115,34
0,49	0,188,575	0,094,838	124,459	0,100,67	128,231	0,106,68	132,003	0,112,87
0,50	0,196,350	0,092,849	129,591	0,098,561	133,518	0,104,44	137,445	0,110,50
0,55	0,237,583	0,084,036	156,805	0,089,206	161,556	0,094,531	166,308	0,100,01
0,60	0,282,744	0,076,748	186,611	0,081,470	192,265	0,086,333	197,921	0,091,337
0,65	0,331,832	0,070,622	219,009	0,074,967	225,645	0,079,442	232,282	0,084,046
0,70	0,384,846	0,065,401	253,998	0,069,425	261,695	0,073,569	269,392	0,077,833
0,75	0,441,788	0,060,897	291,580	0,064,644	300,415	0,068,502	309,252	0,072,472
0,80	0,502,656	0,056,974	331,753	0,060,480	341,806	0,064,090	351,859	0,067,804
0,85	0,567,451	0,053,524	374,517	0,056,818	385,867	0,060,209	397,216	0,063,699
0,90	0,636,174	0,050,470	419,875	0,053,575	432,598	0,056,772	445,322	0,060,063
0,95	0,708,823	0,047,744	467,823	0,050,681	481,990	0,053,706	496,176	0,056,819
1,00	0,785,400	0,045,297	518,364	0,048,084	534,072	0,050,954	549,780	0,053,907

VITESSES. MÈTRES.	74 CENTIMÈTRES.		76 CENTIMÈTRES.		78 CENTIMÈTRES.		80 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,057	19,725	0,059	20,805	0,060	21,915	0,061	23,053	0,063
0,226	6,319,3	0,232	6,665,5	0,239	7,020,9	0,245	7,385,6	0,251
0,412	4,000,6	0,424	4,219,7	0,435	4,434,7	0,447	4,675,6	0,458
0,509	3,425,5	0,523	3,613,2	0,537	3,805,9	0,551	4,003,5	0,565
0,905	2,273,9	0,930	2,398,5	0,955	2,526,4	0,980	2,657,6	1,005
1,414	1,677,4	1,453	1,769,3	1,492	1,863,7	1,532	1,960,4	1,571
1,649	1,514,3	1,695	1,597,2	1,741	1,682,4	1,786	1,769,8	1,832
2,036	1,319,1	2,092	1,394,6	2,149	1,465,6	2,205	1,541,7	2,262
2,771	1,082,5	2,848	1,141,8	2,925	1,202,7	3,002	1,265,1	3,079
3,610	0,915,52	3,719	0,965,68	3,820	1,017,2	3,921	1,070,0	4,021
3,710	0,901,51	3,813	0,950,90	3,916	1,001,6	4,019	1,053,6	4,122
4,580	0,791,93	4,707	0,835,31	4,835	0,879,85	4,962	0,925,56	5,089
5,655	0,696,99	5,811	0,735,17	5,969	0,774,37	6,126	0,824,59	6,283
6,595	0,635,64	6,779	0,670,47	6,962	0,706,22	7,145	0,742,90	7,329
6,842	0,621,91	7,032	0,655,99	7,222	0,690,97	7,412	0,726,85	7,603
8,143	0,561,13	8,369	0,591,88	8,595	0,623,44	8,821	0,655,82	9,048
9,557	0,510,99	9,822	0,538,98	10,087	0,567,72	10,353	0,597,21	10,619
10,306	0,489,07	10,592	0,515,86	10,878	0,543,37	11,165	0,571,59	11,451
11,083	0,468,93	11,391	0,494,62	11,699	0,520,99	12,007	0,548,05	12,315
12,723	0,433,17	13,077	0,456,90	13,430	0,481,26	13,783	0,506,26	14,137
14,476	0,402,40	14,879	0,424,45	15,280	0,447,08	15,683	0,470,30	16,085
14,841	0,396,76	15,253	0,418,50	15,665	0,440,81	16,077	0,463,71	16,490
16,343	0,375,67	16,796	0,396,25	17,250	0,417,38	17,704	0,419,06	18,158
18,321	0,352,22	18,831	0,371,52	19,339	0,391,33	19,849	0,411,66	20,358
20,414	0,331,51	20,981	0,349,67	21,548	0,368,31	22,115	0,387,44	22,682
22,619	0,313,06	23,247	0,330,21	23,876	0,347,82	24,504	0,365,89	25,133
24,938	0,296,55	25,631	0,312,80	26,323	0,329,47	27,016	0,346,59	27,709
26,383	0,287,44	27,116	0,303,19	27,849	0,319,36	28,582	0,335,95	29,315
27,369	0,281,68	28,129	0,297,11	28,890	0,312,95	29,650	0,329,20	30,411
29,914	0,268,21	30,745	0,282,90	31,576	0,297,99	32,407	0,313,47	33,238
32,572	0,255,97	33,477	0,269,99	34,381	0,284,39	35,286	0,299,16	36,191
35,343	0,244,78	36,325	0,258,19	37,306	0,271,96	38,288	0,286,09	39,270
38,227	0,234,53	39,289	0,247,38	40,351	0,260,57	41,412	0,274,10	42,474
41,224	0,225,10	42,360	0,237,43	43,514	0,250,09	44,659	0,263,08	45,805
44,334	0,216,38	45,565	0,228,24	46,797	0,240,41	48,029	0,252,90	49,260
47,557	0,208,32	48,878	0,219,73	50,199	0,231,45	51,521	0,243,47	52,842
50,893	0,200,83	52,307	0,211,84	53,721	0,223,13	55,135	0,234,72	56,549
54,343	0,193,86	55,853	0,204,49	57,362	0,215,39	58,871	0,226,58	60,382
57,905	0,187,36	59,514	0,197,63	61,123	0,208,16	62,731	0,218,98	64,340
59,729	0,184,27	61,389	0,194,37	63,048	0,204,73	64,707	0,215,36	66,366
61,581	0,181,28	63,292	0,191,21	65,003	0,201,40	66,713	0,211,86	68,424
65,370	0,175,57	67,186	0,185,19	69,002	0,195,07	70,817	0,205,20	72,634
69,272	0,170,22	71,196	0,179,54	73,121	0,189,12	75,045	0,198,94	76,969
73,287	0,165,17	75,323	0,174,22	77,359	0,183,51	79,394	0,193,05	81,430
77,415	0,160,42	79,565	0,169,21	81,716	0,178,23	83,866	0,187,49	86,017
81,656	0,155,94	83,925	0,164,48	86,193	0,173,25	88,461	0,182,25	90,729
86,011	0,151,69	88,399	0,160,00	90,789	0,168,54	93,178	0,177,29	95,567
90,478	0,147,67	92,991	0,155,76	95,505	0,164,07	98,017	0,172,59	100,531
95,059	0,143,86	97,699	0,151,74	100,339	0,159,83	102,980	0,168,14	105,621
99,752	0,140,24	102,523	0,147,92	105,294	0,155,81	108,065	0,163,90	110,836
104,559	0,136,80	107,463	0,144,29	110,367	0,151,98	113,272	0,159,88	116,177
109,478	0,133,52	112,519	0,140,83	115,560	0,148,34	118,601	0,156,05	121,642
114,511	0,130,39	117,691	0,137,54	120,873	0,144,87	124,053	0,152,30	127,234
119,657	0,127,41	122,981	0,134,39	126,305	0,141,55	129,629	0,148,91	132,953
124,916	0,124,56	128,356	0,131,38	131,856	0,138,39	135,326	0,145,57	138,796
130,288	0,121,83	133,907	0,128,51	137,526	0,135,36	141,145	0,142,39	144,765
135,774	0,119,22	139,545	0,125,75	143,317	0,132,46	147,088	0,139,34	150,860
141,372	0,116,72	145,299	0,123,12	149,226	0,129,68	153,153	0,136,42	157,080
171,059	0,105,64	175,811	0,111,43	180,563	0,117,37	185,315	0,123,47	190,066
203,575	0,096,482	209,230	0,101,77	214,885	0,107,19	220,540	0,112,76	226,195
238,919	0,088,780	245,555	0,093,644	252,192	0,098,638	258,829	0,103,76	265,466
277,089	0,082,217	284,786	0,086,721	292,483	0,091,345	300,179	0,096,090	307,877
314,087	0,076,534	326,923	0,080,748	335,759	0,085,054	344,595	0,089,472	353,430
361,912	0,071,623	371,965	0,075,547	382,018	0,079,576	392,071	0,083,709	402,125
408,565	0,067,287	419,913	0,070,973	431,263	0,074,757	442,611	0,078,640	453,961
458,045	0,063,446	470,769	0,066,922	483,492	0,070,491	496,215	0,074,152	508,939
510,352	0,060,019	524,529	0,063,307	538,705	0,066,683	552,881	0,070,147	567,058
565,488	0,056,944	581,196	0,060,063	596,904	0,063,266	612,612	0,066,552	628,320

TUYAUX NEUFS.		82 CENTIMÈTRES.		84 CENTIMÈTRES.		86 CENTIMÈTRES.		88 CENTI-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	24,220	0,064	25,416	0,066	26,640	0,068	27,894
0,02	0,000,314	7,759,5	0,258	8,142,6	0,264	8,535,0	0,270	8,936,6
0,027	0,000,573	4,912,3	0,470	5,154,9	0,481	5,403,2	0,492	5,657,5
0,03	0,000,707	4,206,2	0,580	4,413,9	0,594	4,626,6	0,608	4,844,3
0,04	0,001,257	2,792,1	1,030	2,930,0	1,056	3,071,2	1,081	3,215,7
0,05	0,001,964	2,059,7	1,610	2,161,4	1,649	2,265,5	1,689	2,372,1
0,054	0,002,290	1,859,4	1,878	1,951,2	1,924	2,045,2	1,970	2,141,4
0,06	0,002,827	1,619,7	2,319	1,699,7	2,375	1,781,6	2,432	1,865,5
0,07	0,003,848	1,329,2	3,156	1,394,8	3,233	1,462,0	3,310	1,530,8
0,08	0,005,027	1,124,2	4,121	1,179,7	4,222	1,236,5	4,323	1,294,7
0,081	0,005,153	1,107,0	4,225	1,161,6	4,328	1,217,8	4,431-	1,274,9
0,09	0,006,362	0,972,41	5,217	1,020,4	5,343	1,069,8	5,471	1,119,9
0,10	0,007,854	0,855,83	6,440	0,898,09	6,597	0,941,36	6,754	0,985,66
0,108	0,009,161	0,780,51	7,511	0,819,04	7,695	0,858,51	7,878	0,898,91
0,11	0,009,503	0,763,65	7,793	0,801,36	7,983	0,839,97	8,173	0,879,49
0,12	0,011,310	0,689,02	0,274	0,723,04	9,500	0,757,88	9,728	0,793,54
0,13	0,013,273	0,627,44	10,884	0,658,42	11,149	0,690,15	11,415	0,722,62
0,135	0,014,314	0,600,53	11,737	0,630,18	12,023	0,660,55	12,309	0,691,63
0,14	0,015,394	0,575,80	12,623	0,604,23	12,931	0,633,33	13,239	0,663,14
0,15	0,017,672	0,531,89	14,491	0,558,15	14,844	0,585,04	15,197	0,612,57
0,16	0,020,106	0,494,11	16,487	0,518,51	16,889	0,543,49	17,291	0,569,07
0,162	0,020,612	0,487,18	16,901	0,511,24	17,314	0,535,87	17,726	0,561,09
0,17	0,022,698	0,461,28	18,612	0,484,06	19,066	0,507,38	19,520	0,531,26
0,18	0,025,447	0,432,50	20,866	0,453,85	21,375	0,475,72	21,884	0,498,10
0,19	0,028,353	0,407,06	23,249	0,427,16	23,816	0,447,74	24,383	0,468,81
0,20	0,031,416	0,384,41	25,761	0,403,39	26,389	0,422,83	27,017	0,442,72
0,21	0,034,636	0,364,13	28,401	0,382,11	29,094	0,400,53	29,787	0,419,37
0,216	0,036,644	0,352,95	30,047	0,370,38	30,781	0,388,23	31,513	0,406,50
0,22	0,038,013	0,345,87	31,171	0,362,95	31,931	0,380,44	32,691	0,398,34
0,23	0,041,548	0,329,34	34,069	0,345,60	34,900	0,362,25	35,731	0,379,29
0,24	0,045,239	0,314,30	37,096	0,329,82	38,001	0,345,71	38,905	0,361,98
0,25	0,049,088	0,300,57	40,251	0,315,41	41,233	0,330,61	42,215	0,346,16
0,26	0,053,093	0,287,98	43,536	0,302,20	44,598	0,316,76	45,660	0,331,66
0,27	0,057,256	0,276,40	46,949	0,290,04	48,095	0,304,02	49,239	0,318,32
0,28	0,061,575	0,265,70	50,491	0,278,82	51,723	0,292,25	52,955	0,306,00
0,29	0,066,052	0,255,80	54,163	0,268,43	55,483	0,281,36	56,805	0,294,60
0,30	0,070,686	0,246,60	57,962	0,258,78	59,376	0,271,25	60,789	0,284,01
0,31	0,075,477	0,238,05	61,891	0,249,80	63,401	0,261,84	64,910	0,274,10
0,32	0,080,425	0,230,06	65,948	0,241,42	67,557	0,253,05	69,165	0,264,96
0,325	0,082,958	0,226,27	68,025	0,237,44	69,685	0,248,88	71,343	0,260,59
0,33	0,085,530	0,222,59	70,135	0,233,58	71,845	0,244,83	73,555	0,256,35
0,34	0,090,792	0,215,59	74,449	0,226,23	76,265	0,237,13	78,081	0,248,29
0,35	0,096,212	0,209,01	78,893	0,219,33	80,817	0,229,90	82,741	0,240,71
0,36	0,101,788	0,202,82	83,466	0,212,83	85,501	0,223,09	87,537	0,233,58
0,37	0,107,521	0,196,98	88,167	0,206,71	90,317	0,216,67	92,468	0,226,87
0,38	0,113,412	0,191,47	92,997	0,200,93	95,265	0,210,61	97,534	0,220,52
0,39	0,119,459	0,186,27	97,957	0,195,46	100,345	0,204,88	102,735	0,214,52
0,40	0,125,664	0,181,33	103,044	0,190,28	105,557	0,199,45	108,071	0,208,84
0,41	0,132,026	0,176,65	108,261	0,185,37	110,901	0,194,30	113,542	0,203,44
0,42	0,138,545	0,172,20	113,607	0,180,70	116,377	0,189,41	119,149	0,198,32
0,43	0,145,221	0,167,97	119,081	0,176,27	121,985	0,184,76	124,890	0,193,45
0,44	0,152,053	0,163,95	124,683	0,172,04	127,724	0,180,33	130,765	0,188,82
0,45	0,159,043	0,160,11	130,415	0,168,01	133,596	0,176,11	136,777	0,184,40
0,46	0,166,191	0,156,44	136,277	0,164,17	139,600	0,172,08	142,924	0,180,18
0,47	0,173,495	0,152,94	142,265	0,160,50	145,735	0,168,23	149,205	0,176,14
0,48	0,180,956	0,149,60	148,383	0,156,98	152,003	0,164,55	155,622	0,172,29
0,49	0,188,575	0,146,39	154,631	0,153,62	158,403	0,161,02	162,174	0,168,60
0,50	0,196,350	0,143,32	161,007	0,150,40	164,934	0,157,65	168,861	0,165,07
0,55	0,237,583	0,129,72	194,818	0,136,12	199,569	0,142,68	204,321	0,149,40
0,60	0,282,744	0,118,47	231,850	0,124,32	237,505	0,130,31	243,159	0,136,44
0,65	0,331,832	0,109,01	272,102	0,114,40	278,739	0,119,91	285,375	0,125,55
0,70	0,384,846	0,100,95	315,573	0,105,94	323,271	0,111,04	330,967	0,116,27
0,75	0,441,788	0,094,002	362,266	0,098,643	371,101	0,103,40	379,937	0,108,26
0,80	0,502,656	0,087,947	412,177	0,092,289	422,231	0,096,738	432,284	0,101,29
0,85	0,567,451	0,082,621	465,309	0,086,701	476,659	0,090,879	488,007	0,095,155
0,90	0,636,174	0,077,906	521,663	0,081,752	534,386	0,085,692	547,109	0,089,724
0,95	0,708,823	0,073,698	581,235	0,077,337	595,411	0,081,063	609,587	0,084,878
1,00	0,785,400	0,069,922	644,028	0,073,374	659,736	0,076,910	675,444	0,080,528

VITESSES.								
MÈTRES.	90 CENTIMÈTRES.		92 CENTIMÈTRES.		94 CENTIMÈTRES.		96 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,069	29,176	0,071	30,487	0,072	31,827	0,074	33,196	0,075
0,276	9,347,4	0,283	9,767,5	0,289	10,197	0,295	10,635	0,302
0,504	5,917,6	0,515	6,183,5	0,527	6,455,3	0,538	6,732,9	0,550
0,622	5,067,0	0,636	5,294,7	0,650	5,527,4	0,664	5,765,1	0,679
1,106	3,363,5	1,131	3,514,7	1,156	3,669,1	1,181	3,826,9	1,206
1,728	2,481,2	1,767	2,592,7	1,806	2,706,6	1,846	2,823,0	1,885
2,015	2,239,9	2,061	2,340,5	2,107	2,443,4	2,153	2,548,5	2,199
2,488	1,931,2	2,545	2,038,9	2,601	2,128,5	2,658	2 220,0	2,714
3,387	1,601,2	3,464	1,673,1	3,541	1,746,7	3,618	1,821,8	3,695
4,423	1,354,2	4,524	1,415,1	4,624	1,477,3	4,725	1,540,8	4,825
4,535	1,333,5	4,638	1,393,4	4,741	1,454,7	4,844	1,517,2	4,947
5,598	1,171,4	5,726	1,224,0	5,853	1,277,8	5,980	1,332,8	6,107
6,911	1,031,0	7,069	1,077,3	7,225	1,124,6	7,383	1,173,0	7,539
8,061	0,940,23	8,245	0,982,48	8,428	1,025,7	8,611	1,069,8	8,794
8,363	0,919,93	8,553	0,961,26	8,743	1,003,5	8,933	1,046,7	9,123
9,952	0,830,02	10,179	0,867,32	10,405	0,905,44	10,631	0,944,38	10,857
11,680	0,755,84	11,946	0,789,81	12,211	0,824,52	12,477	0,859,98	12,742
12,596	0,724,42	12,883	0,755,93	13,169	0,789,15	13,455	0,823,09	13,741
13,546	0,693,63	13,854	0,724,80	14,162	0,756,65	14,470	0,789,19	14,778
15,551	0,640,73	15,904	0,669,52	16,257	0,698,95	16,611	0,729,01	16,965
17,693	0,595,23	18,096	0,621,98	18,497	0,649,31	18,899	0,677,24	19,301
18,138	0,586,88	18,551	0,613,25	18,963	0,640,21	19,375	0,667,74	19,787
10,974	0,556,68	20,428	0,580,65	20,882	0,606,17	21,336	0,632,24	21,790
22,353	0,521,00	22,902	0,544,41	23,371	0,568,34	23,880	0,592,78	24,429
24,950	0,490,36	25,518	0,512,39	26,085	0,534,91	26,651	0,557,92	27,219
27,646	0,463,08	28,274	0,483,89	28,903	0,505,15	29,531	0,526,88	30,159
30,479	0,438,65	31,173	0,458,36	31,865	0,478,51	32,557	0,499,09	33,251
32,246	0,425,18	32,979	0,444,29	33,712	0,463,82	34,445	0,483,76	35,177
33,451	0,416,65	34,212	0,435,37	34,972	0,454,51	35,732	0,474,05	36,493
36,561	0,396,73	37,393	0,414,56	38,223	0,432,78	39,055	0,451,39	39,885
39,810	0,378,62	40,715	0,395,64	41,619	0,413,02	42,525	0,430,79	43,429
43,197	0,362,08	44,179	0,378,35	45,160	0,394,98	46,142	0,411,96	47,124
46,721	0,346,91	47,784	0,362,50	48,845	0,378,43	49,907	0,394,71	50,969
50,385	0,332,96	51,530	0,347,92	52,675	0,363,21	53,820	0,378,83	54,965
54,186	0,320,07	55,418	0,334,45	56,649	0,349,15	57,881	0,364,17	59,112
58,123	0,308,15	59,447	0,321,99	60,767	0,336,15	62,089	0,350,60	63,410
62,203	0,297,07	63,617	0,310,42	65,031	0,324,06	66,445	0,338,00	67,855
66,419	0,286,76	67,929	0,299,65	69,439	0,312,82	70,948	0,326,27	72,457
70,773	0,277,14	72,382	0,289,60	73,991	0,302,32	75,599	0,315,33	77,207
73,003	0,272,87	74,662	0,284,82	76,321	0,297,34	77,980	0,310,12	79,639
75,266	0,268,14	76,977	0,280,19	78,687	0,292,50	80,398	0,305,08	82,109
79,897	0,259,71	81,713	0,271,38	83,529	0,283,30	85,345	0,295,49	87,160
84,606	0,251,78	86,590	0,263,09	88,514	0,274,66	90,439	0,286,47	92,363
89,573	0,244,32	91,609	0,255,30	93,645	0,266,52	95,680	0,277,99	97,716
94,619	0,237,30	96,769	0,247,96	98,919	0,258,86	101,069	0,269,99	103,220
99,802	0,230,66	102,071	0,241,02	104,339	0,251,62	106,607	0,262,44	108,875
105,124	0,224,38	107,513	0,234,47	109,902	0,244,77	112,291	0,255,30	114,681
110,584	0,218,44	113,098	0,228,25	115,611	0,238,28	118,124	0,248,53	120,637
116,183	0,212,80	118,823	0,222,36	121,463	0,232,13	124,104	0,242,12	126,745
121,919	0,207,44	124,691	0,216,76	127,461	0,226,29	130,232	0,236,02	133,003
127,794	0,202,39	130,699	0,211,44	133,603	0,220,73	136,507	0,230,22	139,412
133,807	0,197,50	136,848	0,206,37	139,889	0,215,44	142,929	0,224,71	145,971
139,957	0,192,87	143,139	0,201,54	146,319	0,210,40	149,500	0,219,45	152,681
146,248	0,188,46	149,572	0,196,93	152,895	0,205,58	156,219	0,214,42	159,543
152,675	0,184,24	156,146	0,192,52	159,615	0,200,98	163,085	0,209,63	166,555
159,241	0,180,21	162,860	0,188,31	166,479	0,196,59	170,099	0,205,04	173,717
165,946	0,176,35	169,718	0,184,28	173,489	0,192,38	177,260	0,200,65	181,032
172,788	0,172,65	176,715	0,180,41	180,642	0,188,34	184,569	0,196,44	188,496
209,073	0,156,27	213,825	0,163,29	218,576	0,170,46	223,328	0,177,80	228,079
248,815	0,142,71	254,470	0,149,13	260,124	0,155,68	265,779	0,162,38	271,434
292,012	0,131,32	298,649	0,137,22	305,285	0,143,25	311,922	0,149,42	318,559
338,664	0,121,61	346,361	0,127,08	354,058	0,132,66	361,755	0,138,37	369,452
388,773	0,113,24	397,609	0,118,33	406,445	0,123,53	415,281	0,128,84	424,116
442,337	0,105,94	452,390	0,110,70	462,443	0,115,57	472,497	0,120,54	482,549
499,357	0,099,53	510,706	0,104,00	522,055	0,108,57	533,403	0,113,24	544,753
559,833	0,093,85	572,557	0,098,07	595,280	0,102,38	598,003	0,106,78	610,727
623,764	0,088,78	637,941	0,092,77	652,117	0,096,85	666,293	0,101,01	680,470
691,152	0,084,23	706,860	0,088,02	722,568	0,091,88	738,276	0,095,84	753,984

TUYAUX NEUFS.		98 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE.		1 MÈTRE 2 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 4
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	34,594	0,077	30,020	0,079	37,475	0,080	38,959
0,02	0,000,314	11,083	0,308	11,540	0,314	12,006	0,320	12,482
0,027	0,000,573	7,016,3	0,561	7,305,6	0,573	7,600,8	0,584	7,901,8
0,03	0,000,707	6,007,8	0,693	6,255,5	0,707	6,508,3	0,721	6,766,0
0,04	0,001,257	3,988,1	1,232	4,152,5	1,257	4,320,3	1,282	4,491,3
0,05	0,001,964	2,941,9	1,924	3,063,2	1,964	3,187,0	2,003	3,313,2
0,054	0,002,290	2,655,8	2,244	2,765,3	2,290	2,877,0	2,336	2,990,9
0,06	0,002,827	2,313,5	2,771	2,408,9	2,827	2,506,2	2,884	2,605,5
0,07	0,003,848	1,898,5	3,771	1,976,7	3,848	2,056,6	3,925	2,138,0
0,08	0,005,027	1,605,7	4,928	1,671,9	5,027	1,739,4	5,128	1,808,3
0,081	0,005,153	1,581,1	5,049	1,646,3	5,153	1,712,8	5,256	1,780,6
0,09	0,006,362	1,388,9	6,234	1,446,2	6,362	1,504,6	6,489	1,564,2
9,10	0,007,854	1,222,4	7,697	1,272,8	7,854	1,324,2	8,011	1,376,7
0,108	9,009,161	1,114,8	8,977	1,160,8	9,161	1,207,7	9,344	1,255,5
0,11	0,009,503	1,090,7	0,313	1,135,7	9,503	1,181,6	9,693	1,228,4
0,12	0,011,310	0,984,14	11,083	1,024,7	11,310	1,066,1	11,536	1,108,3
0,13	0,013,273	0,896,19	13,007	0,933,14	13,273	0,970,84	13,538	1,009,3
0,135	0,014,314	0,857,74	14,027	0,893,11	14,314	0,929,19	14,600	0,965,99
0,14	9,015,394	0,822,42	15,085	0,856,33	15,394	0,890,93	15,702	0,926,20
0,15	0,017,672	0,759,70	17,318	0,791,05	17,672	0,822,98	18,025	0,855,57
0,16	0,020,106	0,705,75	19,704	0,734,85	20,100	0,764,54	20,508	0,794,81
0,162	0,020,612	0,695,85	20,199	0,724,54	20,612	0,753,81	21,024	0,783,67
0,17	0,022,698	0,658,86	22,244	0,686,02	22,698	0,713,74	23,152	0,742,00
0,18	0,025,447	0,617,74	24,938	0,643,21	25,447	0,669,20	25,956	0,695,70
0,19	0,028,353	0,581,41	27,785	0,605,38	28,353	0,629,84	28,920	0,654,78
0,20	0,031,416	0,549,06	30,787	0,571,70	31,416	0,594,80	32,044	0,618,35
0,21	0,034,636	0,520,10	33,943	0,541,54	34,636	0,563,42	35,329	0,585,73
0,216	0,036,644	0,505,13	35,911	0,524,92	36,644	0,546,12	37,377	0,567,75
0,22	0,038,013	0,491,01	37,253	0,514,38	38,013	0,535,16	38,773	0,556,36
0,23	0,041,548	0,470,40	40,717	0,489,79	41,548	0,509,58	42,379	0,529,76
0,24	0,045,239	0,448,92	44,334	0,467,43	45,239	0,486,32	46,144	0,505,58
0,25	0,049,088	0,429,31	48,105	0,447,01	49,088	0,465,07	50,070	0,483,49
0,26	0,053,093	0,411,32	52,031	0,428,29	53,093	0,445,59	54,155	0,463,23
0,27	0,057,256	0,394,78	56,110	0,411,06	57,256	0,427,67	58,401	0,444,60
0,28	0,061,575	0,379,50	60,343	0,395,15	61,575	0,411,11	62,807	0,427,39
0,29	0,066,052	0,365,36	64,731	0,380,43	66,052	0,395,80	67,373	0,411,47
0,30	0,070,686	0,352,23	69,272	0,366,75	70,686	0,381,57	72,100	0,396,68
0,31	0,075,477	0,340,01	73,967	0,354,03	75,477	0,368,33	76,987	0,382,91
0,32	0,080,425	0,328,60	78,816	0,342,15	80,425	0,355,97	82,033	0,370,07
0,325	0,082,958	0,323,18	81,299	0,336,50	82,958	0,350,10	84,617	0,363,96
0,33	0,085,530	0,317,93	83,819	0,331,04	85,530	0,344,41	87,241	0,358,05
0,34	0,090,792	0,307,93	88,976	0,320,62	90,792	0,333,58	92,608	0,346,79
0,35	0,096,212	0,298,53	94,287	0,310,84	96,212	0,323,40	98,136	0,336,20
0,36	0,101,788	0,289,69	99,752	0,301,63	101,788	0,313,82	103,824	0,320,25
0,37	0,107,521	0,281,36	105,371	0,292,96	107,521	0,304,79	109,671	0,316,86
0,38	0,113,412	0,273,49	111,143	0,284,76	113,412	0,296,27	115,680	0,308,00
0,39	0,119,459	0,266,05	117,070	0,277,02	119,459	0,288,21	121,848	0,299,62
0,40	0,125,664	0,259,00	123,151	0,269,68	125,664	0,280,57	128,177	0,291,68
0,41	0,132,026	0,252,31	129,385	0,262,71	132,026	0,273,33	134,667	0,284,15
0,42	0,138,545	0,245,96	135,774	0,256,10	138,545	0,266,45	141,316	0,277,00
0,43	0,145,221	0,239,92	142,316	0,249,81	145,221	0,259,90	148,125	0,270,19
0,44	0,152,053	0,234,17	149,011	0,243,82	152,053	0,253,67	155,094	0,263,72
0,45	0,159,043	0,228,69	155,862	0,238,12	159,043	0,247,74	162,224	0,257,55
0,46	0,166,191	0,223,45	162,867	0,232,67	166,191	0,242,07	169,515	0,251,65
0,47	0,173,495	0,218,45	170,025	0,227,46	173,495	0,236,65	176,965	0,246,02
0,48	0,180,956	0,213,67	177,337	0,222,48	180,956	0,231,47	184,575	0,240,64
0,49	0,188,575	0,209,10	184,803	0,217,72	188,575	0,226,51	192,347	0,235,48
0,50	0,196,350	0,204,71	192,423	0,213,15	196,350	0,221,76	200,277	0,230,55
0,55	0,237,583	0,185,28	232,831	0,192,92	237,583	0,200,71	242,335	0,208,66
0,60	0,282,744	0,169,21	277,089	0,176,19	282,744	0,183,31	288,399	0,190,57
0,65	0,331,832	0,155,71	325,195	0,162,13	331,832	0,168,68	338,469	0,175,36
0,70	0,384,846	0,144,19	377,149	0,150,14	384,846	0,156,21	392,543	0,162,39
0,75	0,441,788	0,134,26	432,952	0,139,80	441,788	0,145,45	450,624	0,151,21
0,80	0,502,656	0,125,62	492,603	0,130,80	502,656	0,136,08	512,709	0,141,47
0,85	0,567,451	0,118,01	556,101	0,122,88	567,451	0,127,84	578,800	0,132,90
0,90	0,636,174	0,111,27	623,450	0,115,86	636,174	0,120,54	648,897	0,125,32
0,95	0,708,823	0,105,26	694,646	0,109,60	708,823	0,114,03	722,999	0,118,55
1,00	0,785,400	0,099,87	769,692	0,103,99	785,400	0,108,19	801,108	0,112,47

VITESSES.

CENTIMÈTRES.	1 MÈTRE 6 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 8 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 10 CENTIMÈTRES		1 MÈTRE 12 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,082	40,472	0,083	42,014	0,085	43,584	0,086	45,183	0,088
0,327	12,966	0,333	13,460	0,339	13,964	0,346	14,813	0,352
0,595	8,208,6	0,607	8,521,3	0,618	8,839,8	0,630	9,164,2	0,641
0,735	7,026,7	0,749	7,296,5	0,763	7,569,2	0,778	7,846,9	0,792
1,307	4,665,8	1,332	4,843,5	1,357	5,024,5	1,382	5,208,9	1,407
2,042	3,441,8	2,081	3,572,9	2,121	3,706,5	2,160	3,842,5	2,199
2,382	3,107,1	2,428	3,225,4	2,473	3,346,1	2,519	3,468,8	2,565
2,941	2,706,6	2,997	2,809,7	3,054	2,914,8	3,110	3,021,7	3,167
4,002	2,221,1	4,079	2,305,7	4,156	2,391,9	4,233	2,479,6	4,310
5,226	1,878,5	5,327	1,950,1	5,428	2,023,0	5,529	2,097,2	5,630
5,358	1,849,8	5,461	1,920,2	5,566	1,992,0	5,668	2,065,1	5,770
6,610	1,624,9	6,743	1,686,8	6,870	1,749,9	6,998	1,814,1	7,124
8,168	1,430,1	8,325	1,484,6	8,482	1,540,1	8,639	1,596,6	8,796
9,526	1,304,2	9,709	1,353,9	9,894	1,404,5	10,077	1,456,1	10,260
9,882	1,276,1	10,072	1,324,7	10,262	1,374,2	10,454	1,424,6	10,642
11,762	1,151,4	11,988	1,195,2	12,214	1,239,9	12,441	1,285,4	12,666
13,804	1,048,5	14,069	1,088,4	14,334	1,129,1	14,601	1,170,5	14,866
14,886	1,003,5	15,172	1,041,7	15,458	1,080,7	15,745	1,120,3	16,030
16,010	0,962,17	16,318	0,998,82	16,626	1,036,2	16,933	1,074,2	17,240
18,378	0,888,80	18,731	0,922,65	19,086	0,957,14	19,439	0,992,26	19,792
20,910	0,825,68	21,312	0,857,13	21,714	0,889,17	22,117	0,921,80	22,518
21,436	0,814,10	21,848	0,845,11	22,260	0,876,70	22,673	0,908,87	23,086
23,606	0,770,82	24,060	0,800,18	24,514	0,830,09	24,968	0,860,55	25,422
26,464	0,722,71	26,973	0,750,24	27,482	0,778,29	27,992	0,806,84	28,500
29,486	0,680,20	30,053	0,706,11	30,620	0,732,51	31,188	0,759,39	31,754
32,672	0,642,36	33,300	0,666,83	33,930	0,691,76	34,558	0,717,14	35,186
36,022	0,608,48	36,715	0,631,66	37,406	0,655,27	38,100	0,679,31	38,792
38,110	0,589,80	38,843	0,612,26	39,574	0,635,15	40,308	0,658,46	41,040
39,534	0,577,96	40,294	0,599,98	41,054	0,622,40	41,815	0,645,24	42,574
43,210	0,550,33	44,041	0,571,20	44,870	0,592,65	45,702	0,614,39	46,534
47,048	0,525,21	47,953	0,545,21	48,858	0,565,59	49,763	0,586,35	50,666
51,050	0,502,26	52,032	0,521,39	53,014	0,540,88	53,996	0,560,73	54,978
55,216	0,481,22	56,278	0,499,55	57,340	0,518,22	58,402	0,537,24	59,464
59,546	0,461,87	60,691	0,479,46	61,836	0,497,38	62,981	0,515,63	64,126
64,038	0,443,99	65,270	0,460,90	66,502	0,478,13	67,733	0,495,68	68,964
68,694	0,427,45	70,015	0,443,73	71,336	0,460,32	72,657	0,477,21	73,978
73,514	0,412,08	74,928	0,427,78	76,340	0,443,77	77,755	0,460,06	79,168
78,496	0,397,78	80,006	0,412,94	81,514	0,428,37	83,025	0,444,09	84,534
83,642	0,384,44	85,250	0,399,08	86,858	0,414,00	88,467	0,429,19	90,074
86,276	0,378,10	87,935	0,392,50	89,594	0,407,17	91,254	0,422,11	92,912
88,930	0,371,95	90,661	0,386,12	92,372	0,400,56	94,083	0,415,25	95,794
94,422	0,360,25	96,238	0,373,98	98,054	0,387,96	99,871	0,402,19	101,686
100,058	0,349,26	101,982	0,362,56	103,908	0,376,12	105,833	0,389,92	107,756
105,858	0,338,92	107,894	0,351,83	109,930	0,364,98	111,967	0,378,37	114,002
111,822	0,329,17	113,972	0,341,70	116,122	0,354,48	118,273	0,367,48	120,422
117,948	0,319,96	120,216	0,332,15	122,484	0,344,56	124,753	0,357,21	127,020
124,238	0,311,25	126,627	0,323,11	129,016	0,335,19	131,405	0,347,49	133,794
130,690	0,303,01	133,203	0,314,55	135,716	0,326,31	138,230	0,338,28	140,742
137,306	0,295,18	139,947	0,306,43	142,588	0,317,88	145,229	0,329,55	147,868
144,086	0,287,75	146,857	0,298,72	149,628	0,309,88	152,400	0,321,25	155,170
151,030	0,280,69	153,934	0,291,38	156,838	0,302,27	159,743	0,313,36	162,646
158,134	0,273,96	161,175	0,284,39	164,218	0,295,03	167,258	0,305,85	170,298
165,404	0,267,55	168,585	0,277,74	171,766	0,288,12	174,947	0,298,69	178,128
172,838	0,261,42	176,162	0,271,38	179,486	0,281,53	182,810	0,291,86	186,134
180,434	0,255,57	183,904	0,265,31	187,374	0,275,23	190,845	0,285,33	194,314
188,194	0,249,98	191,813	0,259,50	195,432	0,269,20	199,052	0,279,08	202,670
196,118	0,244,63	199,890	0,253,95	203,660	0,263,44	207,433	0,273,11	211,204
204,204	0,239,50	208,131	0,248,62	212,058	0,257,91	215,985	0,267,38	219,912
247,086	0,216,76	251,838	0,225,02	256,590	0,233,43	261,341	0,242,00	266,092
294,054	0,197,97	299,700	0,205,51	305,362	0,213,19	311,018	0,221,01	316,674
345,106	0,182,16	351,743	0,189,10	358,378	0,196,17	365,015	0,203,37	371,650
400,238	0,168,70	407,935	0,175,12	415,634	0,181,67	423,331	0,188,34	431,026
459,458	0,157,08	468,294	0,163,06	477,130	0,169,16	485,967	0,175,36	494,802
522,762	0,146,96	532,815	0,152,56	542,868	0,158,26	552,922	0,164,07	562,974
590,148	0,138,06	601,497	0,143,32	612,846	0,148,68	624,196	0,154,13	635,544
661,620	0,130,18	674,343	0,135,14	687,066	0,140,19	699,791	0,145,34	712,514
737,174	0,123,15	751,360	0,127,84	765,528	0,132,62	779,705	0,137,49	793,882
816,816	0,116,64	832,524	0,121,29	848,232	0,125,83	863,940	0,130,44	879,648

TUYAUX NEUFS.		1 MÈTRE 14 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 16 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 18 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 20
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	40,812	0,090	48,469	0,091	50,154	0,093	51,869
0,02	0,000,314	14,997	0,358	15,528	0,364	10,068	0,371	16,618
0,027	0,000,573	9,494,4	0,653	9,830,5	0,664	10,172	0,076	10,520
0,03	0,000,707	8,129,7	0,806	8,417,4	0,820	8,710,2	0,834	9,008
0,04	0,001,257	5,396,6	1,433	5,587,6	1,458	5,781,9	1,483	5,979,6
0,05	0,001,964	3,980,9	2,238	4,121,8	2,278	4,265,2	2,317	4,411,0
0,054	0,002,290	3,593,8	2,011	3,721,0	2,657	3,850,4	2,702	3,982,0
0,06	0,002,827	3,130,6	3,223	3,241,4	3,280	3,354,2	3,336	3,468,8
0,07	0,003,848	2,560,0	4,387	2,659,9	4,464	2,752,4	4,541	2,846,5
0,08	0,005,027	2,172,8	5,731	2,249,7	5,830	2,327,9	5,931	2,407,5
0,081	0,005,153	2,139,5	5,873	2,215,3	5,978	2,292,3	0,081	2,370,7
0,09	0,006,362	1,879,5	7,251	1,940,0	7,378	2,013,7	7,505	2,082,5
0,10	0,007,854	1,654,1	8,953	1,712,7	9,110	1,772,2	9,207	1,832,8
0,108	0,009,161	1,508,5	10,443	1,561,9	10,620	1,810,3	10,800	1,871,5
0,11	0,009,503	1,476,0	10,832	1,528,2	11,022	1,581,4	11,212	1,835,4
0,12	0,011,310	1,331,7	12,892	1,378,9	13,118	1,420,8	13,344	1,475,6
0,13	0,013,273	1,212,7	15,131	1,255,6	15,396	1,299,3	15,661	1,343,7
0,135	0,014,314	1,160,7	16,318	1,201,8	10,608	1,243,6	10,891	1,280,1
0,14	0,015,394	1,112,9	17,548	1,152,3	17,856	1,192,4	18,164	1,233,1
0,15	0,017,672	1,028,0	20,145	1,064,4	20,498	1,101,4	20,851	1,139,1
0,16	0,020,106	0,955,01	22,920	0,988,81	23,322	1,023,2	23,724	1,058,2
0,162	0,020,612	0,941,82	23,498	0,974,95	23,910	1,008,9	24,322	1,043,3
0,17	0,022,698	0,891,58	25,870	0,923,11	26,330	0,955,22	20,784	0,987,87
0,18	0,025,447	0,835,92	29,009	0,865,50	29,518	0,895,81	30,027	0,926,22
0,19	0,028,353	0,780,75	32,321	0,814,60	32,890	0,842,93	33,457	0,871,75
0,20	0,031,410	0,742,98	35,814	0,769,28	30,442	0,796,04	37,070	0,823,25
0,21	0,034,636	0,703,79	39,485	0,728,70	40,178	0,754,04	40,871	0,779,82
0,216	0,036,644	0,682,18	41,773	0,706,33	42,506	0,730,89	43,230	0,755,88
0,22	0,038,013	0,668,49	43,334	0,692,15	44,094	0,718,23	44,854	0,740,71
0,23	0,041,548	0,636,53	47,365	0,659,06	48,194	0,681,90	49,025	0,705,30
0,24	0,045,239	0,607,48	51,571	0,628,98	52,478	0,650,85	53,383	0,673,10
0,25	0,049,088	0,580,93	55,960	0,601,40	56,942	0,622,41	57,924	0,643,69
0,26	0,053,093	0,556,60	60,526	0,576,30	61,586	0,590,34	62,048	0,610,73
0,27	0,057,256	0,534,21	65,271	0,553,12	66,416	0,572,35	67,561	0,591,93
0,28	0,061,575	0,513,54	70,196	0,531,71	71,426	0,550,21	72,658	0,560,02
0,29	0,066,052	0,494,40	75,299	0,511,90	76,620	0,529,71	77,941	0,547,82
0,30	0,070,686	0,476,03	80,582	0,493,50	81,994	0,510,67	83,408	0,528,12
0,31	0,075,477	0,460,09	80,044	0,476,38	87,554	0,492,95	89,064	0,509,80
0,32	0,080,425	0,444,66	91,682	0,460,40	93,292	0,476,41	94,900	0,492,70
0,325	0,082,958	0,437,32	94,571	0,452,80	96,230	0,468,55	97,889	0,484,57
0,33	0,085,530	0,430,21	97,505	0,445,44	99,211	0,460,94	100,925	0,470,69
0,34	0,090,792	0,410,68	103,502	0,431,43	105,318	0,446,44	107,134	0,461,70
0,35	0,096,212	0,403,97	109,680	0,418,27	111,006	0,432,81	113,530	0,447,61
0,36	0,101,788	0,392,00	110,038	0,405,88	118,074	0,419,99	120,110	0,434,35
0,37	0,107,521	0,380,73	122,572	0,394,20	124,724	0,407,91	126,874	0,421,86
0,38	0,113,412	0,370,08	129,288	0,383,18	131,558	0,396,50	133,826	0,410,06
0,39	0,119,459	0,360,01	130,183	0,372,75	138,572	0,385,72	140,961	0,398,90
0,40	0,125,664	0,350,47	143,255	0,362,87	145,770	0,375,50	148,283	0,388,33
0,41	0,132,026	0,341,42	150,509	0,353,51	153,150	0,365,80	155,791	0,378,31
0,42	0,138,545	0,332,83	157,941	0,344,61	160,712	0,356,59	163,483	0,368,78
0,43	0,145,221	0,324,65	165,550	0,336,14	168,456	0,347,83	171,360	0,359,73
0,44	0,152,053	0,316,87	173,339	0,328,00	176,382	0,339,50	179,423	0,351,10
0,45	0,159,043	0,309,46	181,309	0,320,41	184,490	0,331,55	187,671	0,342,89
0,46	0,166,191	0,302,37	189,458	0,313,07	192,782	0,323,96	196,106	0,335,04
0,47	0,173,495	0,295,61	197,784	0,306,07	201,254	0,316,71	204,724	0,327,54
0,48	0,180,956	0,289,14	200,289	0,299,37	209,908	0,309,79	213,527	0,320,38
0,49	0,188,575	0,282,95	214,976	0,292,96	218,746	0,303,15	222,518	0,313,51
0,50	0,196,350	0,277,01	223,839	0,286,82	227,766	0,296,79	231,693	0,306,94
0,55	0,237,583	0,250,72	270,844	0,259,59	275,596	0,268,02	280,348	0,277,80
0,60	0,282,744	0,228,98	322,329	0,237,08	327,982	0,245,33	333,637	0,253,71
0,65	0,331,832	0,210,70	378,287	0,218,10	384,924	0,225,75	391,561	0,233,46
0,70	0,384,840	0,195,12	438,723	0,202,03	446,422	0,209,05	454,119	0,216,20
0,75	0,441,788	0,181,68	503,638	0,188,11	512,474	0,194,66	521,310	0,201,31
0,80	0,502,656	0,169,98	573,027	0,176,00	583,080	0,182,12	593,133	0,188,34
0,85	0,567,451	0,159,69	646,893	0,165,34	658,242	0,171,09	069,591	0,176,94
0,90	0,636,174	0,150,57	725,237	0,155,90	737,962	0,101,33	750,685	0,168,84
0,95	0,708,823	0,142,44	808,058	0,147,48	822,234	0,152,61	836,410	0,157,83
1,00	0,785,400	0,135,14	895,356	0,139,93	911,064	0,144,79	926,772	0,149,74

VITESSES.

CENTIMÈTRES.	1 MÈTRE 22 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 24 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 26 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 28 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,094	53,612	0,096	55,354	0,097	57,185	0,099	59,015	0,101
0,377	17,176	0,383	17,744	0,390	18,321	0,396	18,907	0,402
0,687	10,874	0,699	11,233	0,710	11,598	0,721	11,970	0,733
0,848	9,310,7	0,862	9,618,5	0,877	9,931,3	0,891	10,249	0,905
1,508	6,180,6	1,533	6,384,9	1,558	6,592,5	1,583	6,803,5	1,608
2,356	4,559,3	2,395	4,710,0	2,435	4,863,1	2,474	5,018,7	2,513
2,748	4,115,9	2,794	4,251,9	2,840	4,390,2	2,886	4,530,7	2,931
3,393	3,585,4	3,449	3,703,9	3,506	3,824,4	3,563	3,946,7	3,619
4,618	2,912,2	4,695	3,039,4	4,772	3,138,3	4,849	3,238,7	4,926
6,031	2,488,4	6,132	2,570,7	6,232	2,654,3	6,333	2,739,2	6,434
6,183	2,450,3	6,286	2,531,3	6,390	2,613,7	6,493	2,697,3	6,594
7,634	2,152,5	7,761	2,223,6	7,888	2,296,0	8,015	2,369,4	8,142
9,425	1,894,4	9,582	1,957,1	9,738	2,020,7	9,895	2,085,4	10,052
10,993	1,727,7	11,176	1,784,8	11,358	1,842,9	11,541	1,901,8	11,724
11,404	1,690,4	11,594	1,746,3	11,784	1,803,1	11,974	1,860,7	12,164
13,571	1,525,2	13,797	1,575,6	14,024	1,626,8	14,250	1,678,9	14,476
15,927	1,388,9	16,192	1,434,8	16,458	1,481,5	16,723	1,528,8	16,990
17,177	1,329,3	17,463	1,373,2	17,750	1,417,9	18,036	1,463,3	18,322
18,473	1,274,6	18,781	1,316,7	19,088	1,359,5	19,396	1,403,0	19,704
21,205	1,177,4	21,558	1,216,3	21,912	1,255,8	22,265	1,296,0	22,618
24,127	1,093,8	24,529	1,129,9	24,930	1,166,6	25,332	1,204,0	25,734
24,734	1,078,4	25,146	1,114,1	25,558	1,150,3	25,970	1,187,1	26,382
27,237	1,021,1	27,691	1,054,8	28,146	1,089,1	28,600	1,124,0	29,054
30,536	0,957,36	31,045	0,989,00	31,554	1,021,2	32,063	1,053,8	32,572
34,023	0,901,05	34,590	0,930,83	35,158	0,961,10	35,725	0,991,85	36,290
37,699	0,850,92	38,327	0,879,05	38,954	0,907,63	39,582	0,936,67	40,212
41,563	0,806,03	42,256	0,832,68	42,948	0,859,75	43,641	0,887,26	44,334
43,972	0,781,29	44,705	0,807,11	45,438	0,833,36	46,171	0,860,02	46,902
45,616	0,765,61	46,376	0,790,91	47,136	0,816,63	47,896	0,842,76	48,656
49,857	0,729,01	50,688	0,753,10	51,518	0,777,59	52,349	0,802,47	53,180
54,287	0,695,73	55,192	0,718,73	56,096	0,742,10	57,001	0,765,84	57,906
58,905	0,665,33	59,887	0,687,32	60,868	0,709,67	61,850	0,732,38	62,832
63,711	0,637,44	64,773	0,658,53	65,834	0,679,94	66,896	0,701,70	67,958
68,797	0,611,82	69,852	0,632,04	70,996	0,652,60	72,141	0,673,48	73,286
73,890	0,588,14	75,122	0,607,58	76,354	0,627,34	77,586	0,647,41	78,816
79,262	0,566,23	80,583	0,584,95	81,904	0,603,97	83,225	0,623,29	84,546
84,823	0,545,87	86,237	0,563,92	87,650	0,582,26	89,064	0,600,89	90,478
90,572	0,526,93	92,082	0,544,35	93,590	0,562,05	95,100	0,580,04	96,610
96,509	0,509,26	98,117	0,526,09	99,726	0,543,20	101,334	0,560,56	102,942
99,549	0,500,85	101,208	0,517,41	102,866	0,534,23	104,525	0,551,33	106,186
102,636	0,492,71	104,347	0,509,00	106,058	0,525,55	107,769	0,542,37	109,478
108,951	0,477,22	110,767	0,492,99	112,582	0,509,02	114,398	0,525,31	116,214
115,453	0,462,65	117,377	0,477,95	119,302	0,493,49	121,226	0,509,28	123,150
122,145	0,448,95	124,181	0,463,79	126,216	0,478,85	128,252	0,494,20	130,288
129,025	0,436,04	131,175	0,450,45	133,326	0,465,10	135,476	0,479,96	137,626
136,094	0,423,84	138,362	0,437,85	140,630	0,452,09	142,898	0,466,56	145,166
143,351	0,412,31	145,740	0,425,94	148,130	0,439,79	150,519	0,453,86	152,906
150,797	0,401,38	153,310	0,414,65	155,822	0,428,14	158,335	0,441,84	160,850
158,431	0,391,02	161,072	0,403,95	163,712	0,417,08	166,353	0,430,43	168,994
166,254	0,381,18	169,025	0,393,78	171,794	0,406,58	174,565	0,419,59	177,336
174,265	0,371,82	177,169	0,384,11	180,074	0,396,60	182,978	0,409,29	185,882
182,463	0,362,91	185,504	0,374,90	188,546	0,387,09	191,587	0,399,48	194,626
190,851	0,354,41	194,032	0,366,13	197,214	0,378,03	200,395	0,390,13	203,574
199,429	0,346,30	202,753	0,357,75	206,076	0,369,38	209,400	0,381,20	212,724
208,194	0,338,55	211,664	0,349,74	215,134	0,361,11	218,604	0,372,67	222,074
217,147	0,331,14	220,766	0,342,09	224,386	0,353,21	228,005	0,364,52	231,622
226,290	0,324,05	230,062	0,334,76	233,832	0,345,65	237,604	0,356,71	241,376
235,620	0,317,26	239,547	0,327,74	243,474	0,338,40	247,401	0,349,23	251,328
285,099	0,287,14	289,851	0,296,63	294,602	0,306,28	299,354	0,316,08	304,106
339,293	0,262,24	344,948	0,270,91	350,602	0,279,72	356,257	0,288,67	361,912
398,198	0,241,31	404,835	0,249,29	411,470	0,257,39	418,107	0,265,63	424,744
461,815	0,223,47	469,512	0,230,86	477,208	0,238,36	484,905	0,245,90	492,602
530,145	0,208,08	538,981	0,214,96	547,816	0,221,95	556,652	0,229,05	565,488
603,187	0,194,68	613,240	0,201,11	623,294	0,207,65	633,347	0,214,29	643,398
680,941	0,182,89	692,290	0,188,93	703,638	0,195,08	714,987	0,201,32	726,338
763,409	0,172,45	776,132	0,178,15	788,854	0,183,94	801,577	0,189,83	814,302
850,587	0,163,13	864,763	0,168,53	878,940	0,174,01	893,116	0,179,58	907,294
942,440	0,154,78	958,188	0,159,89	973,896	0,165,09	989,604	0,170,37	1,005,312

TUYAUX NEUFS.		1 MÈTRE 30 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 32 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 34 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 36
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	60,874	0,102	62,781	0,104	64,678	0,105	66,623
0,02	0,000,314	19,503	0,408	20,107	0,415	20,721	0,421	21,344
0,027	0,000,573	12,347	0,744	12,729	0,756	13,118	0,767	13,512
0,03	0,000,707	10,572	0,919	10,900	0,933	11,232	0,947	11,570
0,04	0,001,257	7,017,7	1,634	7,235,3	1,659	7,450,2	1,684	7,680,5
0,05	0,001,964	5,176,8	2,553	5,337,3	2,592	5,500,3	2,631	5,665,7
0,054	0,002,290	4,673,4	2,977	4,818,3	3,023	4,965,4	3,069	5,114,7
0,06	0,002,827	4,071,0	3,676	4,197,3	3,732	4,325,4	3,789	4,455,5
0,07	0,003,848	3,340,7	5,003	3,444,3	5,080	3,549,4	5,157	3,656,2
0,08	0,005,027	2,825,5	6,535	2,913,1	6,634	3,002,0	6,735	3,092,3
0,081	0,005,153	2,782,2	6,699	2,868,5	6,802	2,956,1	6,905	3,045,0
0,09	0,006,362	2,444,0	8,270	2,519,8	8,398	2,596,8	8,525	2,674,9
0,10	0,007,854	2,151,0	10,210	2,217,7	10,366	2,285,4	10,523	2,354,2
0,108	0,009,161	1,961,7	11,909	2,022,6	12,092	2,084,3	12,275	2,147,0
0,11	0,009,503	1,919,3	12,354	1,978,0	12,544	2,039,3	12,734	2,100,6
0,12	0,011,310	1,731,8	14,703	1,785,5	14,928	1,840,0	15,154	1,895,3
0,13	0,013,273	1,577,0	17,255	1,625,9	17,520	1,675,5	17,785	1,725,9
0,135	0,014,314	1,509,4	18,608	1,556,2	18,894	1,603,7	19,180	1,651,9
0,14	0,015,394	1,447,2	20,012	1,492,1	20,318	1,537,6	20,626	1,583,9
0,15	0,017,672	1,336,8	22,973	1,378,3	23,326	1,420,4	23,679	1,463,1
0,16	0,020,106	1,241,9	26,138	1,280,4	26,540	1,319,5	26,942	1,359,2
0,162	0,020,612	1,224,5	26,796	1,262,4	27,206	1,301,0	27,618	1,340,1
0,17	0,022,698	1,159,4	29,507	1,195,3	29,962	1,231,8	30,416	1,268,9
0,18	0,025,447	1,087,0	33,081	1,120,7	33,590	1,154,9	34,099	1,189,7
0,19	0,028,353	1,023,1	36,859	1,054,8	37,426	1,087,0	37,993	1,119,7
0,20	0,031,416	0,966,17	40,841	0,996,13	41,468	1,026,5	42,096	1,057,4
0,21	0,034,636	0,915,21	45,027	0,943,58	45,718	0,972,39	46,411	1,001,0
0,216	0,036,644	0,887,11	47,637	0,914,61	48,370	0,942,54	49,103	0,970,89
0,22	0,038,013	0,869,31	49,417	0,896,26	50,175	0,923,62	50,938	0,951,40
0,23	0,041,548	0,827,75	54,012	0,853,41	54,842	0,879,47	55,673	0,905,92
0,24	0,045,239	0,789,96	58,811	0,814,46	59,714	0,839,32	60,619	0,864,56
0,25	0,049,088	0,755,44	63,814	0,778,87	64,794	0,802,65	65,776	0,826,79
0,26	0,053,093	0,723,80	69,021	0,746,24	70,082	0,769,03	71,144	0,792,16
0,27	0,057,256	0,694,69	74,432	0,716,23	75,578	0,738,10	76,723	0,760,29
0,28	0,061,575	0,667,80	80,048	0,688,51	81,278	0,709,53	82,510	0,730,87
0,29	0,066,052	0,642,92	85,868	0,662,86	87,188	0,683,10	88,509	0,703,64
0,30	0,070,686	0,619,81	91,892	0,639,03	93,306	0,658,54	94,720	0,678,35
0,31	0,075,477	0,598,30	98,120	0,616,85	99,630	0,635,69	101,140	0,654,81
0,32	0,080,425	0,578,23	104,552	0,596,16	106,160	0,614,36	107,768	0,632,84
0,325	0,082,958	0,568,69	107,845	0,586,33	109,504	0,604,23	111,163	0,622,40
0,33	0,085,530	0,559,45	111,189	0,576,80	112,898	0,594,41	114,609	0,612,28
0,34	0,090,792	0,541,85	118,030	0,558,65	119,846	0,575,71	121,662	0,593,03
0,35	0,096,212	0,525,32	125,075	0,541,61	126,998	0,558,14	128,922	0,574,93
0,36	0,101,788	0,509,76	132,324	0,525,57	134,358	0,541,61	136,394	0,557,90
0,37	0,107,521	0,495,10	139,778	0,510,45	141,928	0,526,03	144,078	0,541,85
0,38	0,113,412	0,481,25	147,435	0,496,17	149,762	0,511,32	151,970	0,526,70
0,39	0,119,459	0,468,16	155,297	0,482,67	157,686	0,497,41	160,075	0,512,37
0,40	0,125,664	0,455,75	163,363	0,469,88	165,876	0,484,23	168,389	0,498,79
0,41	0,132,026	0,443,08	171,634	0,457,75	174,274	0,471,73	176,915	0,485,91
0,42	0,138,545	0,432,81	180,109	0,446,23	182,878	0,459,85	185,649	0,473,68
0,43	0,145,221	0,422,18	188,787	0,435,27	191,690	0,448,56	194,594	0,462,05
0,44	0,152,053	0,412,06	197,669	0,424,84	200,710	0,437,81	203,751	0,450,97
0,45	0,159,043	0,402,42	206,756	0,414,89	209,936	0,427,56	213,117	0,440,42
0,46	0,166,191	0,393,20	216,048	0,405,40	219,372	0,417,77	222,696	0,430,34
0,47	0,173,495	0,384,41	225,544	0,396,33	229,014	0,408,43	232,484	0,420,71
0,48	0,180,956	0,376,00	235,243	0,387,65	238,862	0,399,49	242,481	0,411,50
0,49	0,188,575	0,367,94	245,148	0,379,35	248,918	0,390,94	252,690	0,402,69
0,50	0,196,350	0,360,23	255,255	0,371,40	259,182	0,382,74	263,109	0,394,25
0,55	0,237,583	0,326,03	308,858	0,336,14	313,610	0,346,41	318,362	0,356,82
0,60	0,282,744	0,297,76	367,567	0,306,99	373,222	0,310,37	378,877	0,325,88
0,65	0,331,832	0,273,99	431,382	0,282,49	438,018	0,291,11	444,655	0,299,87
0,70	0,384,846	0,253,74	500,300	0,261,60	507,996	0,269,59	515,693	0,277,70
0,75	0,441,788	0,236,26	574,324	0,243,59	583,160	0,251,02	591,996	0,258,57
0,80	0,502,656	0,221,04	653,453	0,227,90	663,506	0,234,86	673,559	0,241,92
0,85	0,567,451	0,207,66	737,686	0,214,10	749,034	0,220,63	760,383	0,227,27
0,90	0,636,174	0,195,81	827,026	0,201,88	839,750	0,208,04	852,473	0,214,30
0,95	0,708,823	0,185,23	921,470	0,190,97	935,646	0,196,81	949,822	0,202,72
1,00	0,785,400	0,175,74	1,021,020	0,181,19	1,036,728	0,186,72	1,052,436	0,192,34

VITESSES.

CENTIMÈTRES.	1 MÈTRE 38 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 40 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 42 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 44 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,107	68,595	0,108	70,599	0,110	72,631	0,112	74,691	0,113
0,427	21,977	0,434	22,618	0,440	23,269	0,446	23,929	0,452
0,779	13,913	0,790	14,319	0,802	14,731	0,813	15,149	0,825
0,961	11,913	0,975	12,261	0,990	12,614	1,004	12,971	1,018
1,709	7,908,0	1,734	8,138,9	1,759	8,373,1	1,784	8,610,6	1,810
2,670	5,833,6	2,710	6,003,9	2,749	6,176,6	2,788	6,351,9	2,827
3,115	5,266,2	3,161	5,420,0	3,206	5,575,9	3,252	5,734,1	3,298
3,845	4,587,5	3,902	4,721,4	3,958	4,857,3	4,015	4,995,1	4,071
5,234	3,764,5	5,311	3,874,4	5,388	3,985,9	5,465	4,099,0	5,542
6,836	3,183,9	6,937	3,276,0	7,037	3,371,2	7,138	3,466,8	7,238
7,008	3,135,2	7,111	3,226,7	7,214	3,319,6	7,317	3,413,8	7,420
8,650	2,754,1	8,777	2,834,5	8,906	2,916,1	9,033	2,998,8	9,160
10,682	2,423,9	10,839	2,494,7	10,996	2,566,5	11,153	2,639,3	11,310
12,458	2,210,6	12,641	2,275,1	12,825	2,340,6	13,008	2,407,0	13,190
12,924	2,162,8	13,114	2,226,0	13,305	2,290,0	13,495	2,355,0	13,684
15,382	1,951,9	15,608	2,008,4	15,834	2,066,2	16,060	2,124,9	16,286
18,050	1,777,1	18,315	1,829,0	18,583	1,881,6	18,848	1,935,0	19,114
19,466	1,700,8	19,752	1,750,5	20,039	1,800,9	20,325	1,852,0	20,612
20,934	1,630,8	21,242	1,678,4	21,551	1,726,7	21,859	1,775,7	22,166
24,034	1,506,4	24,387	1,550,4	24,740	1,595,0	25,093	1,640,3	25,446
27,344	1,399,5	27,746	1,440,3	28,149	1,481,8	28,551	1,523,3	28,952
28,032	1,379,8	28,444	1,420,1	28,857	1,461,0	29,269	1,502,4	29,682
30,870	1,306,5	31,324	1,344,6	31,777	1,383,3	32,231	1,422,5	32,686
34,606	1,224,9	35,115	1,260,7	35,626	1,297,0	36,135	1,333,8	36,642
38,558	1,152,9	39,125	1,186,5	39,694	1,220,7	40,261	1,255,3	40,828
42,726	1,088,7	43,354	1,120,5	43,982	1,152,8	44,610	1,185,5	45,238
47,104	1,031,3	47,797	1,061,4	48,491	1,092,0	49,184	1,122,9	49,870
49,834	0,999,05	50,567	1,028,8	51,301	1,058,4	52,034	1,088,5	52,766
51,698	0,979,59	52,458	1,008,2	53,219	1,037,2	53,979	1,066,5	54,738
56,504	0,932,70	57,335	0,959,99	58,167	0,987,62	58,998	1,015,6	59,828
61,524	0,890,18	62,429	0,916,17	63,335	0,942,53	64,240	0,969,27	65,144
66,758	0,851,28	67,740	0,876,14	68,723	0,901,35	69,705	0,926,92	70,686
72,206	0,815,63	73,268	0,839,44	74,330	0,863,50	75,392	0,888,09	76,454
77,866	0,782,82	79,011	0,805,68	80,158	0,828,86	81,303	0,852,37	82,448
83,742	0,752,52	84,974	0,774,49	86,206	0,796,78	87,438	0,819,38	88,668
89,830	0,724,19	91,151	0,745,64	92,473	0,767,10	93,794	0,788,85	95,114
96,132	0,698,45	97,546	0,718,84	98,960	0,739,52	100,374	0,760,50	101,786
102,648	0,674,21	104,158	0,693,89	105,663	0,713,86	107,178	0,734,11	108,686
109,378	0,651,59	110,986	0,670,61	112,595	0,689,91	114,203	0,709,48	115,810
112,822	0,640,84	114,481	0,659,55	116,141	0,678,53	117,800	0,697,78	119,458
116,320	0,630,43	118,031	0,648,83	119,742	0,667,50	121,453	0,686,44	123,162
123,478	0,610,60	125,294	0,628,42	127,109	0,646,51	128,925	0,664,85	130,740
130,848	0,591,96	132,770	0,609,25	134,696	0,626,78	136,620	0,644,56	138,544
138,430	0,574,43	140,466	0,591,20	142,503	0,608,21	144,539	0,625,47	146,574
146,228	0,557,91	148,378	0,574,20	150,530	0,590,72	152,680	0,607,48	154,830
154,238	0,542,30	156,506	0,558,14	158,776	0,574,20	161,044	0,590,48	163,312
162,464	0,527,55	164,853	0,542,95	167,243	0,558,57	169,632	0,574,42	172,022
170,902	0,513,57	173,415	0,528,56	175,930	0,543,77	178,443	0,559,20	180,956
179,554	0,500,31	182,195	0,514,92	184,836	0,529,73	187,477	0,544,76	190,118
188,422	0,487,72	191,193	0,501,96	193,963	0,516,40	196,734	0,531,05	199,504
197,500	0,475,74	200,404	0,489,63	203,309	0,503,72	206,213	0,518,00	209,118
206,792	0,464,34	209,833	0,477,89	212,844	0,491,64	215,915	0,505,59	218,956
216,298	0,453,47	219,479	0,466,71	222,660	0,480,14	225,841	0,493,76	229,022
226,018	0,443,09	229,342	0,456,02	232,667	0,469,15	235,991	0,482,45	239,314
235,954	0,433,17	239,424	0,445,82	242,893	0,458,65	246,363	0,471,66	249,832
246,100	0,423,70	249,719	0,436,07	253,338	0,448,62	256,957	0,461,34	260,576
256,462	0,414,62	260,234	0,426,73	264,005	0,439,01	267,777	0,451,46	271,548
267,036	0,405,93	270,963	0,417,78	274,890	0,429,80	278,817	0,441,99	282,744
323,112	0,367,40	327,864	0,378,12	332,616	0,389,00	337,368	0,400,04	342,118
384,530	0,335,54	390,185	0,345,33	395,842	0,355,27	401,497	0,365,35	407,150
451,290	0,308,75	457,927	0,317,77	464,565	0,326,91	471,202	0,336,18	477,838
523,390	0,285,93	531,087	0,294,27	538,784	0,302,74	546,481	0,311,33	554,178
600,830	0,266,24	609,666	0,274,01	618,503	0,281,89	627,339	0,289,89	636,174
683,612	0,249,09	693,665	0,256,36	703,718	0,263,73	713,771	0,271,22	723,824
771,734	0,234,00	783,083	0,240,84	794,431	0,247,77	805,780	0,254,79	817,130
865,196	0,220,65	877,919	0,227,09	890,644	0,233,62	903,367	0,240,25	916,090
963,998	0,208,73	978,174	0,214,82	992,352	0,221,01	1,006,528	0,227,28	1,020,704
1,068,144	0,198,03	1,083,85	0,203,82	1,099,560	0,209,68	1,115,268	0,215,63	1,130,976

TUYAUX NEUFS.		1 MÈTRE 46 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 48 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 50 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 52
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	76,780	0,115	78,898	0,116	81,045	0,118	83,221
0,02	0,000,314	24,509	0,459	25,277	0,465	25,905	0,471	26,662
0,027	0,000,573	15,573	0,836	16,002	0,847	16,438	0,859	16,879
0,03	0,000,707	13,334	1,032	13,702	1,046	14,075	1,060	14,453
0,04	0,001,257	8,851,5	1,835	9,095,6	1,860	9,343,1	1,885	9,593,9
0,05	0,001,964	6,529,5	2,867	6,709,6	2,906	6,892,2	2,945	7,077,2
0,054	0,002,290	5,894,5	3,344	6,057,1	3,390	6,221,0	3,435	6,388,9
0,06	0,002,827	5,134,8	4,128	5,276,5	4,185	5,420,0	4,241	5,565,5
0,07	0,003,848	4,213,6	5,619	4,329,9	5,696	4,447,7	5,773	4,567,1
0,08	0,005,027	3,363,8	7,339	3,662,1	7,438	3,761,7	7,540	3,862,7
0,081	0,005,153	3,509,2	7,523	3,606,0	7,626	3,704,2	7,730	3,803,6
0,09	0,006,362	3,082,7	9,287	3,167,7	9,414	3,253,9	9,543	3,341,3
0,10	0,007,854	2,713,1	11,467	2,787,9	11,622	2,863,8	11,781	2,940,7
0,108	0,009,161	2,474,3	13,373	2,542,6	13,558	2,611,8	13,741	2,681,9
0,11	0,009,503	2,480,9	13,874	2,487,7	14,064	2,555,3	14,255	2,623,9
0,12	0,011,310	2,184,3	16,512	2,244,5	16,738	2,305,6	16,965	2,367,5
0,13	0,013,273	1,989,1	19,379	2,043,9	19,644	2,099,6	19,910	2,155,9
0,135	0,014,314	1,903,8	20,898	1,956,3	21,184	2,009,5	21,471	2,063,4
0,14	0,015,394	1,825,4	22,474	1,875,7	22,782	1,926,7	23,091	1,978,5
0,15	0,017,672	1,686,2	25,799	1,732,7	26,154	1,779,8	26,507	1,827,6
0,16	0,020,106	1,566,4	29,354	1,609,6	29,758	1,653,4	30,159	1,697,8
0,162	0,020,612	1,544,4	30,094	1,587,0	30,506	1,630,2	30,918	1,674,0
0,17	0,022,698	1,462,3	33,140	1,502,7	33,592	1,543,6	34,047	1,585,0
0,18	0,025,447	1,371,1	37,151	1,408,9	37,662	1,447,2	38,170	1,486,1
0,19	0,028,353	1,290,4	41,395	1,326,0	41,962	1,362,1	42,529	1,398,7
0,20	0,031,416	1,218,6	45,806	1,252,3	46,494	1,286,3	47,124	1,320,9
0,21	0,034,636	1,154,4	50,569	1,186,2	51,262	1,218,5	51,954	1,251,2
0,216	0,036,644	1,118,9	53,499	1,149,8	54,232	1,181,1	54,965	1,212,8
0,22	0,038,013	1,096,5	55,498	1,126,7	56,258	1,157,4	57,020	1,188,4
0,23	0,041,548	1,044,0	60,659	1,072,8	61,490	1,102,0	62,322	1,131,6
0,24	0,045,239	0,996,38	66,019	1,023,9	66,954	1,051,7	67,859	1,080,0
0,25	0,049,088	0,952,84	71,668	0,979,13	72,650	1,005,8	73,631	1,032,8
0,26	0,053,093	0,912,93	77,516	0,938,11	78,578	0,963,64	79,640	0,989,51
0,27	0,057,256	0,876,21	83,593	0,900,38	84,738	0,924,88	85,884	0,949,71
0,28	0,061,575	0,842,30	89,900	0,865,54	91,130	0,889,09	92,363	0,912,95
0,29	0,066,052	0,810,92	96,435	0,833,29	97,756	0,855,96	99,078	0,878,94
0,30	0,070,686	0,781,77	103,200	0,803,34	104,614	0,825,20	106,029	0,847,35
0,31	0,075,477	0,754,64	110,196	0,775,46	111,706	0,796,56	113,215	0,817,94
0,32	0,080,425	0,729,33	117,418	0,749,45	119,028	0,769,84	120,637	0,790,50
0,325	0,082,958	0,717,29	121,117	0,737,08	122,778	0,757,14	124,437	0,777,46
0,33	0,085,530	0,705,64	124,873	0,725,10	126,584	0,744,83	128,295	0,764,83
0,34	0,090,792	0,683,44	132,556	0,702,29	134,372	0,721,40	136,188	0,740,77
0,35	0,096,212	0,662,59	140,468	0,680,86	142,392	0,699,39	144,317	0,718,16
0,36	0,101,788	0,642,96	148,610	0,660,70	150,646	0,678,68	152,682	0,696,89
0,37	0,107,521	0,624,47	156,980	0,641,69	159,130	0,659,15	161,282	0,676,85
0,38	0,113,412	0,607,00	165,580	0,623,74	167,850	0,640,72	170,118	0,657,92
0,39	0,119,459	0,590,49	174,411	0,606,77	176,798	0,623,28	179,189	0,640,02
0,40	0,125,664	0,574,81	183,469	0,590,70	185,982	0,606,77	188,496	0,623,06
0,41	0,132,026	0,560,00	192,759	0,575,44	195,398	0,591,10	198,039	0,606,97
0,42	0,138,545	0,545,90	202,275	0,560,96	205,046	0,576,23	207,818	0,591,69
0,43	0,145,221	0,532,49	212,022	0,547,18	214,926	0,562,07	217,832	0,577,16
0,44	0,152,053	0,519,73	221,997	0,534,07	225,038	0,548,60	228,080	0,563,33
0,45	0,159,043	0,507,57	232,203	0,521,57	235,382	0,535,76	238,563	0,550,14
0,46	0,166,191	0,495,95	242,638	0,509,63	245,962	0,523,50	249,287	0,537,55
0,47	0,173,495	0,484,85	253,302	0,498,23	256,772	0,511,78	260,243	0,525,52
0,48	0,180,956	0,474,25	264,105	0,487,33	267,814	0,500,59	271,434	0,514,03
0,49	0,188,575	0,464,09	275,320	0,476,80	279,090	0,489,87	282,863	0,503,02
0,50	0,196,350	0,454,35	286,671	0,466,89	290,598	0,479,59	294,525	0,492,47
0,55	0,237,563	0,411,23	346,870	0,422,57	351,622	0,434,07	356,375	0,445,72
0,60	0,282,744	0,375,57	412,805	0,385,93	418,460	0,396,43	424,116	0,407,07
0,65	0,331,832	0,345,59	484,475	0,355,12	491,110	0,364,78	497,748	0,374,58
0,70	0,384,846	0,320,04	561,875	0,328,87	569,572	0,337,82	577,269	0,346,88
0,75	0,441,788	0,298,00	645,010	0,306,22	653,846	0,314,55	662,682	0,322,99
0,80	0,502,656	0,278,80	733,877	0,286,49	743,930	0,294,29	753,984	0,302,19
0,85	0,567,451	0,261,92	828,479	0,269,15	839,826	0,276,47	851,177	0,283,89
0,90	0,636,174	0,246,97	928,813	0,253,78	941,535	0,260,69	954,261	0,267,69
0,95	0,708,823	0,233,63	1,034,880	0,240,08	1,049,058	0,246,61	1,063,235	0,253,23
1,00	0,785,400	0,221,66	1,146,084	0,227,78	1,162,392	0,233,97	1,178,100	0,240,25

VITESSES.

CENTIMÈTRES.	1 MÈTRE 54 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 56 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 58 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 60 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,119	85,425	0,121	87,658	0,123	89,920	0,124	92,211	0,126
0,478	27,368	0,484	28,084	0,490	28,808	0,496	29,542	0,503
0,870	17,326	0,882	17,779	0,893	18,238	0,905	18,703	0,916
1,075	14,836	1,089	15,223	1,103	15,616	1,117	16,014	1,131
1,910	9,848,1	1,935	10,106	1,960	10,366	1,985	10,630	2,011
2,985	7,204,7	3,024	7,454,6	3,063	7,647,0	3,102	7,841,8	3,142
3,481	6,558,2	3,527	6,729,6	3,573	6,903,3	3,619	7,079,2	3,664
4,298	5,712,9	4,354	5,862,3	4,411	6,013,6	4,467	6,166,8	4,524
5,850	4,688,0	5,927	4,810,6	6,004	4,934,7	6,081	5,060,5	6,158
7,640	3,965,0	7,741	4,068,7	7,842	4,173,7	7,943	4,280,0	8,043
7,832	3,904,4	7,935	4,006,4	8,038	4,109,8	8,141	4,214,5	8,245
9,670	3,429,8	9,707	3,519,4	9,924	3,610,2	10,051	3,702,2	10,179
11,938	3,018,6	12,095	3,097,5	12,252	3,177,4	12,409	3,258,4	12,566
13,924	2,752,9	14,107	2,824,9	14,290	2,897,8	14,473	2,971,6	14,657
14,444	2,693,4	14,634	2,763,9	14,824	2,835,2	15,014	2,907,4	15,205
17,190	2,430,2	17,416	2,493,8	17,642	2,558,1	17,868	2,623,3	18,096
20,174	2,213,0	20,439	2,270,9	20,706	2,329,5	20,971	2,388,8	21,237
21,756	2,118,1	22,042	2,173,5	22,330	2,229,6	22,616	2,286,4	22,902
23,398	2,030,9	23,706	2,084,0	24,014	2,137,7	24,322	2,192,2	24,630
26,860	1,876,0	27,213	1,925,0	27,566	1,974,7	27,919	2,025,0	28,274
30,560	1,742,8	30,962	1,788,3	31,360	1,834,5	31,768	1,881,2	32,170
31,330	1,718,3	31,742	1,763,2	32,154	1,808,7	32,566	1,854,8	32,979
34,500	1,627,0	34,954	1,669,5	35,408	1,712,6	35,862	1,756,2	36,317
38,678	1,525,4	39,187	1,565,3	39,698	1,605,7	40,207	1,646,0	40,715
43,096	1,435,7	43,663	1,473,3	44,230	1,511,3	44,797	1,549,8	45,365
47,752	1,355,8	48,380	1,391,3	49,008	1,427,2	49,636	1,463,6	50,266
52,646	1,284,3	53,339	1,317,9	54,032	1,351,9	54,725	1,386,3	55,418
55,698	1,244,9	56,431	1,277,4	57,164	1,310,4	57,897	1,343,8	58,630
57,780	1,219,9	58,540	1,251,8	59,300	1,284,1	60,060	1,316,8	60,821
63,152	1,161,6	63,983	1,192,0	64,814	1,222,7	65,645	1,253,9	66,476
68,762	1,108,6	69,667	1,137,5	70,572	1,166,9	71,477	1,196,6	72,382
74,612	1,060,1	75,594	1,087,8	76,576	1,115,9	77,558	1,144,3	78,549
80,702	1,015,7	81,764	1,042,3	82,824	1,069,2	83,886	1,096,4	84,949
87,028	0,974,87	88,173	1,000,4	89,318	1,026,2	90,463	1,052,3	91,609
93,594	0,937,14	94,826	0,961,64	96,058	0,986,45	97,290	1,011,6	98,521
100,398	0,902,22	101,719	0,925,81	103,042	0,949,70	104,363	0,973,89	105,683
107,442	0,869,79	108,856	0,892,53	110,270	0,915,56	111,684	0,938,89	113,098
114,724	0,839,61	116,234	0,861,56	117,742	0,883,79	119,252	0,906,31	120,763
122,216	0,811,44	123,854	0,832,66	125,462	0,854,14	127,070	0,875,90	125,680
126,096	0,798,05	127,755	0,818,92	129,414	0,840,05	131,073	0,861,45	132,733
130,006	0,785,09	131,717	0,805,61	133,426	0,826,40	135,137	0,847,45	136,848
138,004	0,760,39	139,820	0,780,27	141,634	0,800,40	143,450	0,820,80	145,268
146,242	0,737,10	148,166	0,756,46	150,090	0,775,98	152,014	0,795,75	153,938
154,718	0,715,35	156,754	0,734,05	158,788	0,753,00	160,824	0,772,18	162,861
163,432	0,694,78	165,582	0,712,94	167,732	0,731,34	160,882	0,749,97	172,034
172,386	0,675,34	174,654	0,693,00	176,922	0,710,88	179,190	0,728,99	181,450
181,578	0,656,97	183,967	0,674,14	186,356	0,691,54	188,745	0,709,16	191,135
191,010	0,639,56	193,523	0,656,28	196,034	0,673,22	198,547	0,690,37	201,062
200,678	0,623,05	203,319	0,639,34	205,960	0,655,83	208,601	0,672,54	211,242
210,589	0,607,37	213,359	0,623,25	216,130	0,639,33	218,901	0,655,62	221,672
220,734	0,592,46	223,638	0,607,94	226,544	0,623,62	229,448	0,639,51	232,354
231,120	0,578,25	234,161	0,593,37	237,202	0,608,68	240,243	0,624,19	243,285
241,766	0,564,71	244,927	0,579,48	248,106	0,594,43	251,287	0,609,58	254,469
252,610	0,551,79	255,934	0,566,21	259,258	0,580,83	262,582	0,595,62	265,906
263,712	0 539,44	267,182	0,553,55	270,652	0,567,83	274,122	0,582,30	277,592
275,052	0,527,64	278,671	0,541,44	282,290	0,555,41	285,909	0,569,56	289,530
286,634	0,516,34	290,406	0,529,84	294,176	0,543,51	297,948	0,557,36	301,720
298,452	0,505,51	302,379	0,518,73	306,306	0,532,11	310,233	0,545,67	314,160
361,126	0,457,53	365,878	0,469,49	370,630	0,481,61	375,382	0,491,88	380,133
429,770	0,417,85	435,425	0,428,78	441,080	0,439,84	446,735	0,451,05	452,390
504,384	0,384,50	511,021	0,394,55	517,658	0,404,73	524,295	0,415,04	530,931
584,966	0,356,07	592,663	0,365,38	600,358	0,374,81	608,055	0,384,36	615,754
671,518	0,331,55	680,354	0,340,22	689,190	0,349,00	698,026	0,357,89	706,861
764,036	0,310 19	774,089	0,318,30	784,142	0,326,52	996,571	0,334,84	804,250
862,526	0,291,41	873,875	0,299,03	885,222	0,306,75	794,195	0,314,56	907,922
966,984	0,274,78	979,707	0,281,96	992,430	0,289,24	1,005	0,296,61	1,018
1,077,410	0,259,94	1,091,580	0,266,73	1,105,762	0,273,62	1,120	0,280,50	1,134
1,193,808	0,246,62	1,209,516	0,253,07	1,225,224	0,259,60	1,241	0,266,21	1,257

TUYAUX NEUFS.		1 MÈTRE 62 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 64 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 66 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 68
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	94,531	0,127	96,879	0,129	99,257	0,130	101,66
0,02	0,000,314	30,286	0,309	31,038	0,315	31,800	0,322	32,570
0,027	0,000,573	19,173	0,928	19,649	0,939	20,131	0,950	20,619
0,03	0,000,707	16,417	1,145	16,825	1,159	17,238	1,173	17,650
0,04	0,001,257	10,898	2,036	11,169	2,061	11,443	2,080	11,720
0,05	0,001,964	8,039,1	3,181	8,238,8	3,220	8,441	3,259	8,645,6
0,054	0,002,290	7,257,2	3,710	7,437,5	3,756	7,620,0	3,802	7,804,8
0,06	0,002,827	6,321,9	4,580	6,479,0	4,637	6,638,0	4,694	6,798,9
0,07	0,003,848	5,187,8	6,235	5,316,6	6,311	5,447,1	6,388	5,579,2
0,08	0,005,027	4,387,7	8,144	4,490,7	8,242	4,607,0	8,343	4,718,7
0,081	0,005,153	4,320,5	8,348	4,427,9	8,450	4,536,5	8,553	4,640,5
0,09	0,006,362	3,795,3	10,306	3,898,6	10,434	3,985,1	10,561	4,081,7
0,10	0,007,854	3,339,3	12,723	3,423,3	12,880	3,507,3	13,037	3,592,4
0,108	0,009,161	3,046,3	14,840	3,122,0	15,022	3,198,6	15,205	3,276,2
0,11	0,009,503	2,980,6	15,395	3,054,6	15,586	3,129,6	15,776	3,205,4
0,12	0,011,310	2,689,3	18,322	2,756,1	18,548	2,823,7	18,774	2,892,2
0,13	0,013,273	2,448,9	21,502	2,509,8	21,768	2,571,4	22,033	2,633,7
0,135	0,014,314	2,343,9	23,188	2,402,1	23,474	2,461,1	23,760	2,520,7
0,14	0,015,394	2,247,3	24,938	2,303,2	25,240	2,359,7	25,554	2,416,0
0,15	0,017,672	2,076,0	28,627	2,127,5	28,982	2,179,8	29,335	2,232,6
0,16	0,020,106	1,928,5	32,572	1,976,5	32,974	2,025,0	33,376	2,074,0
0,162	0,020,612	1,901,5	33,391	1,948,7	33,802	1,996,6	34,214	2,045,0
0,17	0,022,698	1,800,4	36,771	1,845,1	37,224	1,890,4	37,678	1,936,2
0,18	0,025,447	1,688,0	41,224	1,730,0	41,732	1,772,4	42,241	1,815,4
0,19	0,028,353	1,588,8	45,932	1,628,2	46,498	1,668,2	47,065	1,708,6
0,20	0,031,416	1,500,4	50,894	1,537,6	51,522	1,575,4	52,150	1,613,6
0,21	0,034,636	1,421,2	56,111	1,456,5	56,802	1,492,3	57,495	1,528,5
0,216	0,036,644	1,377,6	59,363	1,411,8	60,094	1,446,5	60,827	1,481,5
0,22	0,038,013	1,348,9	61,581	1,383,5	62,332	1,417,4	63,102	1,451,8
0,23	0,041,548	1,285,4	67,307	1,317,3	68,138	1,349,7	68,969	1,382,4
0,24	0,045,239	1,226,7	73,287	1,257,2	74,192	1,288,1	75,097	1,319,3
0,25	0,049,088	1,173,1	79,522	1,202,3	80,502	1,231,8	81,484	1,261,6
0,26	0,053,093	1,124,0	86,011	1,151,9	87,072	1,180,2	88,134	1,208,8
0,27	0,057,256	1,078,8	92,754	1,105,6	93,898	1,132,7	95,043	1,160,2
0,28	0,061,575	1,037,0	99,753	1,062,8	100,982	1,088,0	102,214	1,115,3
0,29	0,066,052	0,998,39	107,004	1,023,2	108,320	1,048,3	109,647	1,073,7
0,30	0,070,686	0,962,51	114,512	0,986,42	115,924	1,010,6	117,338	1,035,1
0,31	0,075,477	0,929,11	122,273	0,952,19	123,782	0,975,55	125,292	0,999,20
0,32	0,080,425	0,897,94	130,288	0,920,25	131,896	0,942,83	133,504	0,965,65
0,325	0,082,958	0,883,12	134,392	0,905,06	136,050	0,927,27	137,709	0,949,75
0,33	0,085,530	0,868,77	138,559	0,890,36	140,270	0,912,20	141,981	0,934,32
0,34	0,090,792	0,841,41	147,084	0,862,33	148,898	0,883,51	150,714	0,904,93
0,35	0,096,212	0,815,77	155,862	0,836,04	157,786	0,856,55	159,710	0,877,31
0,36	0,101,788	0,791,61	164,897	0,811,27	166,932	0,831,18	168,968	0,851,33
0,37	0,107,521	0,768,84	174,184	0,787,94	176,334	0,807,27	178,484	0,826,84
0,38	0,113,412	0,747,33	183,727	0,765,90	185,994	0,784,69	188,262	0,803,72
0,39	0,119,459	0,727,00	193,524	0,745,06	195,914	0,763,34	198,303	0,781,85
0,40	0,125,664	0,707,74	203,575	0,725,32	206,088	0,743,12	208,601	0,761,13
0,41	0,132,026	0,689,46	213,883	0,706,59	216,522	0,723,93	219,163	0,741,48
0,42	0,138,545	0,672,11	224,443	0,688,81	227,214	0,705,71	229,985	0,722,82
0,43	0,145,221	0,655,60	235,258	0,671,89	238,162	0,688,37	241,066	0,705,06
0,44	0,152,053	0,639,89	246,326	0,655,79	249,366	0,671,88	252,407	0,688,17
0,45	0,159,043	0,624,91	257,650	0,640,44	260,830	0,656,15	264,011	0,672,06
0,46	0,166,191	0,610,61	269,230	0,625,78	272,554	0,641,13	275,878	0,656,67
0,47	0,173,495	0,596,94	281,062	0,611,78	284,530	0,626,79	288,000	0,641,95
0,48	0,180,956	0,583,88	293,149	0,598,39	296,706	0,613,08	300,385	0,627,94
0,49	0,188,575	0,571,35	305,492	0,585,38	309,262	0,599,04	313,034	0,614,49
0,50	0,196,350	0,559,40	318,087	0,573,29	322,014	0,587,36	325,941	0,601,60
0,55	0,237,583	0,506,30	384,885	0,518,88	389,636	0,531,61	394,388	0,544,50
0,60	0,282,744	0,462,39	458,045	0,473,88	463,700	0,485,51	469,355	0,497,28
0,65	0,331,832	0,425,48	537,568	0,436,05	544,204	0,446,75	550,841	0,457,58
0,70	0,384,846	0,394,03	623,451	0,403,82	631,146	0,413,73	638,843	0,423,76
0,75	0,441,788	0,366,89	715,697	0,376,01	724,532	0,385,23	733,368	0,394,57
0,80	0,502,656	0,343,26	814,303	0,351,79	824,354	0,360,42	834,407	0,369,16
0,85	0,567,451	0,322,47	919,271	0,330,49	930,618	0,338,60	941,967	0,346,80
0,90	0,636,174	0,301,07	1,031	0,311,62	1,043	0,319,27	1,056	0,327,01
0,95	0,708,823	0,287,65	1,148	0,294,79	1,162	0,302,03	1,177	0,309,35
1,00	0,785,400	0,272,91	1,272	0,279,69	1,288	0,286,55	1,304	0,293,50

VITESSES.								
CENTIMÈTRES.	1 MÈTRE 70 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 72 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 74 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 76 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.
0,132	104,10	0,134	100,50	9,135	109,05	9,137	111,58	0,138
0,328	33,351	9,334	34,149	0,340	34,939	0,347	35,748	0,333
9,962	21,113	0,973	21,613	0,985	22,119	0,996	22,630	1,008
1,188	16,978	1,202	18,506	1,216	18,939	1,230	19,377	1,244
2,111	12,001	2,136	12,285	2,161	12,572	2,187	12,863	2,212
3,299	8,652,7	3,338	9,002,2	3,377	9,274,1	3,416	9,488,8	3,456
3,848	7,091,7	3,893	8,180,9	3,939	8,372,2	3,985	8,565,8	4,031
4,750	6,961,7	4,807	7,126,5	4,863	7,293,2	4,920	7,461,8	4,970
6,463	5,712,8	8,542	5,848,0	8,610	3,984,8	6,696	6,123,2	6,773
8,444	4,631,7	8,545	4,946,1	8,640	5,061,8	8,747	5,178,8	8,846
8,856	4,757,8	8,760	4,870,4	8,862	4,984,3	8,965	5,999,8	9,070
10,686	4,179,5	10,815	4,278,4	19,942	4,378,4	11,069	4,479,7	11,196
13,194	3,878,4	13,352	3,785,5	13,508	3,853,3	13,665	3,942,6	13,822
15,390	3,354,8	15,574	3,434,0	15,756	3,514,4	15,939	3,595,6	18,122
15,966	3,282,2	18,156	3,359,9	16,340	3,438,3	16,538	3,518,9	18,726
10,000	2,961,4	19,227	3,931,3	19,452	3,102,4	19,678	3,171,2	19,904
22,298	2,696,8	22,565	2,760,6	22,830	2,825,2	23,095	2,890,5	23,360
24,948	2,581,1	24,334	2,642,2	24,618	2,704,9	24,904	2,768,5	23,192
25,862	2,474,8	28,170	2,533,4	26,478	2,592,6	26,786	2,652,0	27,092
29,688	2,286,1	39,942	2,349,2	30,394	2,394,9	30,747	2,459,3	31,102
33,774	2,123,7	34,161	2,171,9	34,582	2,224,8	34,994	2,278,3	35,368
34,628	2,093,9	35,049	2,143,5	35,452	2,193,6	35,864	2,244,3	36,278
38,132	1,982,6	38,587	2,929,5	39,040	2,077,9	39,494	2,125,0	39,948
42,759	1,858,9	43,260	1,902,9	43,768	1,947,4	44,277	1,992,4	44,706
47,632	1,749,5	48,200	1,791,9	48,766	1,832,8	49,333	1,875,2	49,900
52,778	1,652,2	53,397	1,891,3	54,934	1,730,9	54,662	1,779,9	55,292
58,188	1,565,1	58,861	1,602,1	59,574	1,639,8	60,287	1,677,5	60,958
61,362	1,517,0	62,294	1,552,9	83,026	1,589,2	63,759	1,628,9	64,192
63,862	1,486,6	64,623	1,521,7	65,382	1,557,3	66,142	1,593,3	66,002
69,800	1,415,3	79,831	1,449,0	71,402	1,482,9	72,293	1,517,2	73,122
78,002	1,350,9	76,906	1,382,9	77,819	1,415,2	78,713	1,447,9	79,620
82,466	1,201,9	83,440	1,322,4	84,430	1,353,4	85,412	1,384,7	86,394
89,196	1,237,7	90,258	1,267,0	91,320	1,296,7	92,382	1,326,7	93,442
96,190	1,188,0	97,335	1,218,1	98,478	1,244,5	99,623	1,273,3	100,770
103,446	1,142,0	104,678	1,169,9	105,910	1,196,4	107,142	1,224,9	198,372
110,966	1,999,4	112,289	1,125,5	113,810	1,151,8	114,931	1,178,4	116,250
118,752	1,959,9	129,166	1,085,9	121,578	1,119,4	122,992	1,136,1	124,406
120,802	1,023,1	128,311	1,047,4	129,820	1,071,8	131,330	1,096,8	132,838
135,114	0,988,81	138,722	1,012,2	138,330	1,035,9	139,938	1,059,8	141,548
139,370	0,972,50	141,028	9,995,52	142,680	1,018,8	144,345	1,042,4	146,006
143,690	0,956,70	145,491	0,976,34	147,110	1,002,3	148,821	1,025,4	150,532
152,330	0,926,60	154,347	9,948,53	158,162	9,979,72	157,978	0,993,18	159,794
161,634	9,898,33	163,560	0,919,59	185,482	0,941,10	187,406	9,962,88	169,332
171,002	0,871,72	173,039	9,892,35	173,074	9,913,23	177,119	0,934,34	179,140
180,634	0,846,64	182,786	0,866,68	184,936	9,886,96	187,086	9,907,46	189,238
190,339	0,822,97	192,800	0,842,43	195,968	0,862,13	197,336	0,882,08	190,604
200,690	9,800,57	203,081	0,819,52	205,470	0,838,89	207,859	0,858,98	219,248
211,114	0,779,38	213,020	0,797,81	210,142	0,816,47	218,653	0,835,35	221,168
222,802	9,759,24	224,444	9,777,21	227,084	0,795,39	229,725	0,813,78	232,366
232,754	9,740,13	235,327	9,757,85	238,298	0,775,37	241,939	9,793,30	243,838
243,979	9,721,95	248,876	0,739,04	249,780	0,756,32	252,684	9,773,81	255,568
255,448	9,794,85	258,490	9,721,33	261,530	0,738,20	264,571	0,755,27	267,614
267,192	0,688,15	270,373	0,794,44	273,554	9,720,92	278,735	0,737,59	279,914
279,200	9,672,40	282,525	0,688,32	285,848	0,794,42	289,172	0,720,70	292,496
291,470	9,657,36	294,942	0,072,92	298,410	9,688,66	301,880	0,704,58	305,350
304,006	9,642,98	307,625	0,658,10	311,244	0,673,59	314,863	9,689,16	318,482
318,806	9,629,21	320,578	0,644,10	324,348	0,659,16	328,129	9,674,40	331,892
329,868	9,616,91	333,795	0,630,59	337,722	9,643,34	341,649	9,660,20	345,570
399,138	0,557,54	493,891	9,579,73	408,642	0,584,08	413,394	9,597,59	418,148
475,010	9,509,19	480,665	0,521,24	486,318	9,333,43	491,973	9,545,77	497,639
557,478	0,468,54	564,114	9,470,63	570,750	9,490,83	577,387	0,502,29	584,024
848,542	9,433,90	654,238	0,444,17	661,934	0,454,58	669,631	9,465,97	677,328
742,202	0,404,02	751,040	0,413,58	759,874	9,423,26	768,719	0,433,94	777,546
844,462	0,378,00	854,315	9,386,94	864,368	0,396,00	874,821	0,405,15	884,674
953,318	0,355,11	964,687	9,363,51	970,014	9,372,02	987,363	0,380,62	998,714
1,969	0,334,84	1,081	0 342,77	1,094	0,350,78	1,107	0,358,89	1,120
1,191	0,316,70	1,205	0,324,25	1,219	0,331,84	1,233	9,339,31	1,248
1,319	0,300,53	1,333	9,307,64	1,351	0,314,83	1,367	0,322,11	1,382

TUYAUX NEUFS.		1 MÈTRE 78 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 80 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 82 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 84
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mét.		mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.
0,01	0,000,079	114,13	0,140	116,70	0,141	119,31	0,143	121,95
0,02	0,000,314	36,563	0,559	37,390	0,566	38,225	0,572	39,070
0,027	0,000,573	23,147	1,019	23,670	1,031	24,199	1,042	24,734
0,03	0,000,707	19,820	1,258	20,268	1,272	20,721	1,287	21,179
0,04	0,001,257	13,157	2,237	13,454	2,262	13,755	2,287	14,059
0,05	0,001,964	9,705,4	3,495	9,924,8	3,534	10,147	3,574	10,371
0,054	0,002,290	8,761,6	4,077	8,959,6	4,122	9,159,8	4,168	9,362,2
0,06	0,002,827	7,632,4	5,033	7,804,8	5,089	7,979,2	5,146	8,155,0
0,07	0,003,848	6,263,1	6,850	6,404,6	6,927	6,547,8	7,004	6,692,5
0,08	0,005,027	5,297,2	8,947	5,416,9	9,048	5,537,9	9,149	5,660,3
0,081	0,005,153	5,216,1	9,173	5,334,0	9,275	5,453,2	9,378	5,573,7
0,09	0,006,362	4,582,1	11,323	4,685,6	11,451	4,790,3	11,578	4,896,2
0,10	0,007,854	4,032,7	13,979	4,123,9	14,137	4,216,0	14,294	4,309,2
0,108	0,009,161	3,677,5	16,305	3,760,9	16,490	3,845,0	16,673	3,929,9
0,11	0,009,503	3,598,4	16,916	3,679,7	17,106	3,761,9	17,296	3,845,1
0,12	0,011,310	3,246,7	20,130	3,320,1	20,358	3,394,3	20,584	3,469,3
0,13	0,013,273	2,956,6	23,625	3,023,4	23,892	3,090,9	24,157	3,159,2
0,135	0,014,314	2,829,7	25,478	2,893,7	25,765	2,958,3	26,051	3,023,7
0,14	0,015,394	2,713,2	27,400	2,774,5	27,709	2,836,5	28,017	2,899,2
0,15	0,017,672	2,506,3	31,455	2,562,9	31,809	2,620,2	32,162	2,678,1
0,16	0,020,106	2,328,3	35,788	2,380,9	36,191	2,434,1	36,591	2,487,9
0,162	0,020,612	2,295,6	36,688	2,347,5	37,102	2,400,0	37,514	2,453,0
0,17	0,022,698	2,173,6	40,402	2,222,7	40,857	2,272,4	41,311	2,322,6
0,18	0,025,447	2,037,9	45,215	2,084,0	45,805	2,130,6	46,314	2,177,7
0,19	0,028,353	1,918,1	50,467	1,961,4	51,035	2,005,3	51,602	2,049,6
0,20	0,031,416	1,811,4	55,920	1,852,3	56,549	1,893,7	57,177	1,935,5
0,21	0,034,636	1,715,8	61,651	1,754,6	62,345	1,793,8	63,038	1,833,4
0,216	0,036,644	1,663,1	65,225	1,700,7	65,959	1,738,7	66,692	1,777,2
0,22	0,038,013	1,629,8	67,662	1,666,6	68,424	1,703,9	69,184	1,741,5
0,23	0,041,548	1,551,9	73,953	1,586,9	74,786	1,622,4	75,617	1,658,2
0,24	0,045,239	1,481,0	80,525	1,514,5	81,430	1,548,3	82,335	1,582,5
0,25	0,049,088	1,416,3	87,376	1,448,3	88,358	1,480,7	89,340	1,513,4
0,26	0,053,093	1,357,0	94,504	1,387,0	95,568	1,418,6	96,630	1,450,0
0,27	0,057,256	1,302,4	101,915	1,331,8	103,060	1,361,6	104,205	1,391,7
0,28	0,061,575	1,252,0	109,604	1,280,3	110,836	1,308,9	112,068	1,337,8
0,29	0,066,052	1,205,3	117,571	1,232,6	118,894	1,260,1	120,215	1,288,0
0,30	0,070,686	1,162,0	125,820	1,188,3	127,235	1,214,8	128,649	1,241,7
0,31	0,075,477	1,121,7	134,348	1,147,0	135,858	1,172,7	137,369	1,198,6
0,32	0,080,425	1,084,1	143,154	1,108,6	144,765	1,133,3	146,373	1,158,4
0,325	0,082,958	1,066,2	147,665	1,090,3	149,324	1,114,6	150,983	1,139,3
0,33	0,085,530	1,048,9	152,243	1,072,6	153,954	1,096,5	155,665	1,120,8
0,34	0,090,792	1,015,9	161,610	1,038,8	163,426	1,062,0	165,242	1,085,5
0,35	0,096,212	0,984,57	171,256	1,007,1	173,181	1,029,6	175,105	1,052,4
0,36	0,101,788	0,954,70	181,182	0,977,29	183,218	0,999,13	185,254	1,021,2
0,37	0,107,521	0,928,20	191,388	0,949,18	193,538	0,970,39	195,688	0,991,83
0,38	0,113,412	0,902,24	201,872	0,922,63	204,141	0,943,25	206,409	0,964,09
0,39	0,119,459	0,877,70	212,637	0,897,53	215,027	0,917,59	217,416	0,937,86
0,40	0,125,664	0,854,44	223,681	0,873,75	226,195	0,893,27	228,708	0,913,01
0,41	0,132,026	0,832,38	235,007	0,851,19	237,617	0,870,21	240,288	0,889,44
0,42	0,138,545	0,811,43	246,609	0,829,76	249,381	0,848,31	252,152	0,867,05
0,43	0,145,221	0,791,50	258,492	0,809,38	261,398	0,827,47	264,302	0,845,75
0,44	0,152,053	0,772,53	270,655	0,789,99	273,695	0,807,64	276,736	0,825,49
0,45	0,159,043	0,754,44	283,095	0,771,49	286,277	0,788,73	289,458	0,806,16
0,46	0,166,191	0,737,18	295,820	0,753,83	299,144	0,770,68	302,468	0,787,71
0,47	0,173,495	0,720,68	308,820	0,736,97	312,291	0,753,44	315,761	0,770,09
0,48	0,180,956	0,704,92	322,101	0,720,85	325,721	0,736,95	329,340	0,753,24
0,49	0,188,575	0,689,82	335,664	0,705,41	339,435	0,721,17	343,207	0,737,11
0,50	0,196,350	0,675,35	349,503	0,690,61	353,430	0,706,04	357,357	0,721,65
0,55	0,237,583	0,611,25	422,898	0,625,06	427,649	0,639,03	432,401	0,653,15
0,60	0,282,744	0,558,24	503,285	0,570,86	508,939	0,583,61	514,594	0,596,51
0,65	0,331,832	0,513,68	590,661	0,525,29	597,298	0,537,03	603,935	0,548,89
0,70	0,384,846	0,475,70	685,025	0,486,45	692,723	0,497,32	700,420	0,508,31
0,75	0,441,788	0,442,94	786,382	0,452,95	795,218	0,463,07	804,054	0,473,31
0,80	0,502,656	0,414,41	894,727	0,423,78	904,781	0,433,25	914,834	0,442,82
0,85	0,567,451	0,389,32	1,010	0,398,12	1,021	0,407,01	1,033	0,416,01
0,90	0,636,174	0,367,10	1,132	0,375,39	1,145	0,383,78	1,158	0,392,26
0,95	0,708,823	0,347,27	1,262	0,355,12	1,276	0,363,05	1,290	0,371,08
1,00	0,785,400	0,329,48	1,398	0,336,92	1,414	0,344,45	1,429	0,352,06

VITESSES.

… CENTIMÈTRES.	1 MÈTRE 86 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 88 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 90 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 92 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,145	124,62	0,146	127,31	0,148	130,03	0,149	132,78	0,151
0,578	39,924	0,584	40,787	0.591	41,650	0,597	42.541	0,603
1,054	25,275	1,065	25,821	1,076	26,273	1,088	26,931	1.099
1,301	21,642	1,315	22,110	1,320	22,582	1,343	23.060	1,358
2,312	14,366	2,337	14,677	2,362	14,991	2,388	15,308	2,413
3,613	10,597	3,652	10,827	3,691	11,058	3,731	11,292	3,770
4,214	9,566,8	4,260	9.773,7	4,306	9,982,7	4,351	10,194	4,397
5,202	8,333,8	5,259	8,514,0	5,316	8,696,1	5,372	8,880,2	5,240
7,081	6,838,7	7,158	6,986,6	7,235	7,136,0	7,312	7,287,1	7,389
9,248	5,784,0	0,349	5,909,1	9,440	6,035,5	9,551	8,163,2	9,650
0,452	5,695,5	0,585	5,818,7	9,687	5,043,1	9,791	6,068,0	9,894
11,706	5,003,2	11,833	5,111,4	11,960	5,220,7	12,087	5,331,2	12,214
14,450	4,403,4	14,607	4,496,6	14,766	4,594,8	14,923	4,692,0	15,078
16,856	4,015,8	17,039	4,102,7	17,222	4,190,4	17,406	4,279,1	17,588
17,486	3,920,1	17,676	4,014,1	17,866	4,099,0	18,056	4,186,7	18,246
20,810	3,545,1	21,036	3,621,8	21,262	3,699,2	21,489	3,777,5	21,714
24,422	3,228,3	24,687	3,298,1	24,054	3,368,6	25,219	3,439,0	25,484
26,338	3,089,6	26,624	3,156,6	26,010	3,224,1	27,196	3,292,4	27,482
28,324	2,062,6	28,632	3,026,6	28,940	3,091,3	29,248	3,156,6	29,556
32,514	2,736,6	32,867	2,795,8	33,222	2,855,6	33,576	2,016,0	33,930
36,994	2,542,3	37,396	2,597,3	37,708	2,652,8	38,202	2,709,0	38,602
37,926	2,506,6	38,338	2,560,8	38,750	2,615,6	39,163	2,671,0	39,574
41,764	2,373,4	42,218	2,424,7	42,672	2,478,5	43,126	2,529,0	43,580
46,742	2,225,3	47,251	2,273,4	47,760	2,322,0	48,349	2,371,1	48,858
52,170	2,094,4	52,737	2.139,7	53,302	2.185,4	53,871	2,231,7	54,438
57,806	1,077,0	58,434	2,020,6	59.062	2,063,6	59,690	2,107,5	60,318
63,730	1,873,5	64,423	1,014,0	65,114	1,955,0	65,809	1,996,3	66,502
67,424	1,816,0	68.157	1,855,3	68,890	1,894,9	69.623	1,035,1	70,354
69,944	1,779,6	70,704	1,816,0	71,464	1.856,9	72,225	1,896.2	72,986
76,446	1,694,5	77,277	1,731,1	78,110	1,768,1	78,941	1,805,6	79,770
83,238	1,617.1	84,143	1,652,1	85,050	1,687,4	85,954	1,723,1	86,858
90,320	1,546,5	01,302	1,570,9	92,284	1,613,7	93,266	1,647,9	04,248
97,690	1,481,7	98,752	1,513,7	99,814	1,546,1	100,677	1,578,8	101,938
105,330	1,422,1	106,405	1,452,8	107,040	1,483,0	108,786	1,515,3	109,930
113,298	1,367,1	114,530	1,396,6	115,762	1,426,5	116,093	1,456,7	118,224
121,534	1,316,1	122.855	1,344,6	124,178	1,373,3	125,499	1,402.4	126,820
130,062	1,268,8	131,476	1,296,2	132,890	1,324,0	134,303	1,352,0	135,718
138,876	1,224,8	140,388	1,251,3	141,896	1,278,0	143,406	1,305,1	144,014
147,952	1,183,7	149,590	1,209,3	151.198	1,233,2	152,807	1,261,3	154,414
152,642	1,164,2	154,301	1,189,3	155,960	1,214,8	157,620	1,240,5	159,278
157,374	1,145,3	159,085	1,170 0	160,796	1,195,0	162,507	1,220,3	164,218
167,058	1,109,2	168,874	1,133,2	170,690	1,157,5	172,505	1,181,0	174,320
177,028	1,075,4	178,952	1,098,6	180,878	1,122,1	182,802	1,145,9	184,726
187,290	1,043,5	189,326	1,066,1	191,360	1,088,0	103,397	1,111,9	195,432
197,838	1,013,5	199,988	1,035,4	202.138	1,057,6	204,290	1,080,0	206,440
208,678	0,985,17	210,016	1,006,5	213,214	1,028,0	215,482	1,049,8	217,750
219,804	0,958,36	222,103	0,970,08	224,582	1,000,0	226,973	1,021,2	229,362
231,222	0,932,97	233,735	0,953,14	234,248	0,973,53	238,762	0,994,13	241,274
242,926	0,908,88	245,567	0,926,53	248,208	0,948,39	250,840	0,968,46	253,490
254,922	0,886,00	257,693	0,905,16	260,464	0,924,52	263,256	0,944,09	266,006
267,206	0,864,24	270.110	0,882,03	273,014	0,901,81	275.920	0,920,90	276,824
279,778	0,843,53	282,610	0,861,77	285,858	0,880,20	288,901	0,898,83	291,942
292,638	0,823,78	295,819	0,841,60	299,000	0,859,60	302,182	0,877,70	305,362
305,790	0,804,03	309,114	0,822,33	312,438	0,830,92	315,763	0,857,70	319,088
319,230	0,786,92	322,700	0,803,03	326.170	0,821,13	329,641	0,838,51	333,118
332,958	0,769,70	336,577	0,786,35	340,108	0,803,16	343,816	0,820,16	347,434
346,078	0,753,22	350,750	0,769,50	354,520	0,785,96	358,293	0,802,60	362,064
361,284	0,737,42	365,211	0,753,36	369,138	0,769,48	373,065	0,785,76	376,992
437,152	0,667,43	441,004	0,681,86	446,656	0,696,44	451,408	0,711,18	456,158
520,248	0,609,55	525,903	0,622,73	531,558	0,636,05	537,214	0,649,51	542,868
610,570	0,560,89	617,207	0,573,02	623,844	0,585,28	630,481	0,597,66	637,118
708,116	0,510,42	715,813	0,534,06	723,510	0,542,01	731,207	0,553,48	738,904
812,890	0,483,65	821,726	0,494,11	830,562	0,504,68	839,397	0,515,36	848,232
924,886	0,452,30	934,939	0,462,28	944,994	0,472,17	955,048	0,482,16	965,098
1,044	0,425,10	1,055	0,434,29	1,067	0,443,58	1,078	0,452,97	1,090
1,191	0,400,84	1,203	0,409,50	1,196	0,418,26	1,209	0,427,11	1,221
1,304	0,379,10	1,318	0,387,39	1,333	0,395,67	1,347	0,404,04	1,361
1,445	0,359,76	1,461	0,367,54	1,477	0,375,40	1,492	0,383,34	1,508

TUYAUX NEUFS.		1 MÈTRE 94 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 96 CENTIMÈTRES.		1 MÈTRE 98 CENTIMÈTRES.		2 MÈ-
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	135,56	0,152	138,37	0,154	141,21	0,155	144,08
0,02	0,000,314	43,432	0,609	44,332	0,616	45,241	0,622	46,160
0,027	0,000,573	27,496	1,111	28,065	1,122	28,641	1,134	29,223
0,03	0,000,707	23,543	1,372	24,031	1,386	24,524	1,400	25,022
0,04	0,001,257	15,028	2,438	15,952	2,463	16,279	2,488	16,610
0,05	0,001,964	11,529	3,809	11,768	3,848	12,009	3,888	12,253
0,054	0,002,290	10,407	4,443	10,623	4,489	10,841	4,535	11,061
0,06	0,002,827	9,066,1	5,485	9,254,0	5,542	9,443,9	5,598	9,636
0,07	0,003,848	7,439,7	7,466	7,593,9	7,543	7,749,6	7,620	7,907
0,08	0,005,027	6,292,3	9,751	6,422,7	9,852	6,554,4	9,953	0,687
0,081	0,005,153	6,196,0	9,997	6,324,4	10,098	6,454,1	10,201	6,585
0,09	0,006,362	5,442,8	12,341	5,555,6	12,468	5,669,6	12,595	5,785
0,10	0,007,854	4,790,3	15,235	4,889,6	15,394	4,989,9	15,551	5,091
0,108	0,009,161	4,368,7	17,771	4,459,2	17,954	4,550,7	18,137	4,643
0,11	0,009,503	4,274,4	18,436	4,362,9	18,626	4,452,4	18,816	4,543
0,12	0,011,310	3,850,6	21,940	3,936,6	22,166	4,017,3	22,392	4,099
0,13	0,013,273	3,512,0	25,749	3,584,7	26,014	3,658,3	26,279	3,733
0,135	0,014,314	3,361,3	27,768	3,431,0	28,054	3,501,4	28,340	3,572
0,14	0,015,394	3,222,9	29,864	3,289,7	30,170	3,357,2	30,478	3,425
0,15	0,017,672	2,977,1	34,283	3,038,8	34,636	3,101,1	34,989	3,164
0,16	0,020,106	2,765,7	39,004	2,823,0	39,408	2,880,9	39,810	2,939
0,162	0,020,612	2,726,9	39,986	2,783,4	40,398	2,840,5	40,810	2,898
0,17	0,022,698	2,581,9	44,034	2,635,4	44,458	2,689,5	44,942	2,744
0,18	0,025,447	2,420,8	49,367	2,471,0	49,876	2,521,6	50,385	2,573
0,19	0,028,353	2,278,4	55,005	2,325,6	55,570	2,373,3	56,137	2,422
0,20	0,031,416	2,151,7	60,946	2,196,2	61,574	2,241,3	62,202	2,287
0,21	0,034,636	2,038,2	67,195	2,080,4	67,886	2,123,1	68,579	2,166
0,216	0,036,644	1,975,6	71,687	2,016,5	71,822	2,057,9	72,555	2,100
0,22	0,038,013	1,935,9	73,746	1,976,0	74,508	2,016,6	75,266	2,058
0,23	0,041,548	1,843,4	80,601	1,881,6	81,434	1,920,2	82,265	1,959
0,24	0,045,239	1,759,2	87,763	1,795,7	88,668	1,832,5	89,573	1,870
0,25	0,049,088	1,682,4	95,230	1,717,2	96,210	1,752,5	97,192	1,788
0,26	0,053,093	1,611,9	103,000	1,645,3	104,062	1,679,0	105,124	1,713
0,27	0,057,256	1,547,1	111,075	1,579,1	112,220	1,611,5	113,365	1,644
0,28	0,061,575	1,487,2	119,456	1,518,0	120,686	1,549,1	121,918	1,581
0,29	0,066,052	1,431,8	128,141	1,461,5	129,462	1,491,4	130,783	1,522
0,30	0,070,686	1,380,3	137,130	1,408,9	138,544	1,437,8	139,958	1,467
0,31	0,075,477	1,332,4	146,424	1,360,0	147,934	1,387,9	149,444	1,416
0,32	0,080,425	1,287,7	156,022	1,314,4	157,632	1,341,4	159,240	1,369
0,325	0,082,958	1,266,5	160,937	1,292,7	162,598	1,319,2	164,257	1,346
0,33	0,085,530	1,245,9	165,929	1,271,7	167,638	1,297,8	169,349	1,324
0,34	0,090,792	1,206,7	176,136	1,231,7	177,952	1,257,0	179,768	1,282
0,35	0,096,212	1,169,9	186,650	1,194,1	188,574	1,218,6	190,498	1,243
0,36	0,101,788	1,135,2	197,466	1,158,8	199,504	1,182,5	201,540	1,207
0,37	0,107,521	1,102,6	208,590	1,125,4	210,742	1,148,5	212,892	1,172
0,38	0,113,412	1,071,7	220,018	1,093,9	222,286	1,110,4	224,554	1,139
0,39	0,119,459	1,042,6	231,751	1,064,2	234,140	1,086,0	236,529	1,108
0,40	0,125,664	1,015,0	243,787	1,036,9	246,302	1,057,2	248,815	1,079
0,41	0,132,026	0,988,74	256,131	1,009,2	258,770	1,029,9	261,411	1,051
0,42	0,138,545	0,963,86	268,777	0,983,83	271,548	1,004,0	274,319	1,024
0,43	0,145,221	0,940,18	281,728	0,959,67	284,632	0,979,35	287,536	0,999,2
0,44	0,152,053	0,917,65	294,983	0,936,67	298,022	0,955,88	301,063	0,975,3
0,45	0,159,043	0,896,17	308,543	0,914,74	311,724	0,933,51	314,905	0,952,5
0,46	0,166,191	0,875,66	322,410	0,893,81	325,734	0,912,14	329,058	0,930,7
0,47	0,173,495	0,856,07	336,580	0,873,81	340,050	0,891,73	343,520	0,909,8
0,48	0,180,956	0,837,34	351,053	0,854,69	354,674	0,872,22	358,293	0,889,9
0,49	0,188,575	0,819,40	365,836	0,836,39	369,606	0,853,54	373,378	0,870,9
0,50	0,196,350	0,802,22	380,919	0,818,84	384,846	0,835,64	388,773	0,852,6
0,55	0,237,583	0,726,07	460,910	0,741,12	465,662	0,756,32	470,414	0,771,7
0,60	0,282,744	0,663,11	548,523	0,676,85	554,178	0,690,74	559,833	0,704,8
0,65	0,331,832	0,610,18	643,755	0,622,82	650,390	0,635,60	657,027	0,648,5
0,70	0,384,846	0,565,07	746,601	0,576,78	754,298	0,588,61	761,995	0,600,6
0,75	0,441,788	0,526,15	857,068	0,537,06	865,904	0,548,07	874,740	0,559,2
0,80	0,502,656	0,492,26	975,151	0,502,46	985,206	0,512,77	995,259	0,523,2
0,85	0,567,451	0,462,45	1,101	0,472,04	1,112	0,681,72	1,124	0,491,5
0,90	0,636,174	0,436,06	1,234	0,445,10	1,247	0,454,23	1,260	0,463,4
0,95	0,708,823	0,412,51	1,375	0,421,06	1,389	0,429,69	1,403	0,438,4
1,00	0,785,400	0,391,37	1,524	0,399,48	1,539	0,407,67	1,556	0,416,0

VITESSES.								
TRES.	2 MÈTRES 5 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 10 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 15 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 20 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,157	151,37	0,101	158,85	0,165	160,50	0,169	171,34	0,173
0,628	48,407	0,044	50,891	0,660	53,333	0.675	55,533	0,691
1,165	30,702	1,174	32,218	1,202	33,770	1,231	35,350	1,260
1,416	26,289	1,449	27,587	1,484	28,916	1,520	30,277	1,556
2,513	17,451	2,576	18,313	2,639	19,195	2,702	20,098	2,765
3,927	12,873	4,025	13,509	4,123	14,160	4,222	14,826	4,320
4,580	11,021	4,695	12,195	4,809	12,783	4,926	13,384	5,039
5,655	10,123	5,796	10,623	5,938	11,135	6,079	11,659	6,220
7,697	8,307	7,889	8,717	8,082	9,138	8,274	9,567	8,446
10,053	7,096	10,304	7,373	10,556	7,728	10,807	8,092	11,008
10,306	6,919	10,564	6,260	10,821	7,610	11,079	7,968	11,337
12,723	6,078	13,041	6,378	13,360	6,665	13,078	6,999	13,996
15,708	5,349	16,101	5,613	16,493	5,584	16,886	6,160	17,279
18,322	4,878	18,780	5,119	19,238	5,366	19,696	5,618	20,154
19,007	4,773	19,482	5,009	19,957	5,250	20,432	5,497	20,907
22,620	4,306	23,185	4,519	23,751	4,737	24,316	4,960	24,881
26,547	3,922	27,211	4,115	27,874	4,313	28,538	4,516	29,201
28,628	3,753	29,344	3,939	30,059	4,128	30,775	4,323	31,491
30,768	3,599	31,558	3,776	32,327	3,958	33,097	4,145	33,866
35,343	3,324	36,227	3,488	37,110	3,657	37,994	3,829	38,877
40,212	3,088	41,217	3,241	42,223	3,397	43,228	3,557	44,234
41,224	3,045	42,255	3,195	43,285	3,349	44,316	3,507	45,346
45,396	2,883	46,531	3,025	47,666	3,171	48,801	3,320	49,936
50,895	2,703	52,166	2,837	53,330	2,973	54,711	3,113	55,883
56,706	2,544	58,124	2,670	59,541	2,798	60,959	2,930	62,376
62,832	2,403	64,403	2,521	65,974	2,643	67,545	2,767	69,115
69,272	2,276	71,004	2,388	72,736	2,503	74,468	2,621	78,200
73,287	2,206	75,119	2,315	76,952	2,427	78,784	2,541	80,616
76,027	2,162	77,928	2,268	79,828	2,378	81,729	2,490	83,629
83,095	2,058	85,172	2,160	87,250	2,264	89,327	2,371	91,405
90,478	1,964	92,740	2,061	95,002	2,161	97,264	2,262	99,526
98,175	1,879	100,629	1,971	103,084	2,066	105,538	2,164	107,993
106,186	1,800	108,841	1,889	111,495	1,980	114,150	2,073	116,805
114,511	1,728	117,374	1,813	120,237	1,900	123,100	1,990	125,963
123,151	1,661	126,230	1,743	129,308	1,827	132,387	1,913	135,466
132,104	1,599	135,407	1,678	138,709	1,759	142,012	1,841	145,315
141,372	1,541	144,906	1,617	148,441	1,695	151,975	1,775	155,509
150,954	1,488	154,728	1,561	158,502	1,637	162,276	1,714	166,049
160,850	1,438	164,871	1,509	168,892	1,582	172,913	1,656	176,935
165,910	1,414	170,064	1,484	174,212	1,555	178,360	1,629	182,507
171,060	1,391	175,337	1,460	179,613	1,530	183,890	1,602	188,166
181,584	1,347	186,124	1,414	190,663	1,482	195,204	1,552	199,743
192,423	1,306	197,234	1,371	202,044	1,437	206,855	1,505	211,665
203,576	1,268	208,665	1,330	213,754	1,394	218,843	1,460	223,933
215,042	1,231	220,418	1,292	225,795	1,354	231,171	1,418	236,547
226,823	1,197	232,494	1,256	238,165	1,316	243,836	1,378	249,506
238,919	1,164	244,892	1,222	250,865	1,281	256,838	1,341	262,810
251,328	1,133	257,611	1,189	263,894	1,247	270,177	1,305	270,461
264,052	1,104	270,653	1,150	277,255	1,214	283,856	1,272	290,457
277,090	1,076	284,017	1,120	290,945	1,184	297,872	1,240	304,799
290,442	1,050	297,703	1,102	304,964	1,155	312,225	1,209	319,486
304,106	1,025	311,709	1,075	319,311	1,127	326,914	1,180	334,517
318,084	1,001	326,038	1,050	333,990	1,101	341,942	1,153	349,895
332,382	0,977,8	340,692	1,026	349,001	1,076	357,311	1,126	365,620
346,990	0,955,9	355,665	1,003	364,340	1,051	373,015	1,101	381,689
361,912	0,935,0	370,960	0,981,2	380,008	1,028	389,056	1,077	398,103
377,150	0,915,0	386,579	0,960,1	396,008	1,006	405,437	1,054	414,865
392,700	0,895,8	402,518	0,940,0	412,335	0,985,3	422,153	1,032	431,970
475,166	0,810,8	487,045	0,850,8	498,924	0,891,8	510,803	0,933,7	522,683
565,488	0,740,4	579,625	0,777,0	593,762	0,814,4	607,899	0,852,8	622,037
663,664	0,681,3	680,256	0,715,0	696,847	0,749,4	713,439	0,784,7	730,030
769,692	0,631,0	788,934	0,662,1	808,177	0,694,0	827,419	0,726,7	846,661
883,576	0,587,5	905,665	0,616,5	927,755	0,646,2	949,844	0,676,6	971,934
1,005	0,549,7	1,030	0,576,8	1,056	0,604,6	1,081	0,633,1	1,106
1,135	0,516,4	1,163	0,541,9	1,192	0,568,0	1,220	0,594,7	1,248
1,272	0,486,9	1,304	0,511,0	1,336	0,535,6	1,368	0,560,8	1,400
1,418	0,460,6	1,453	0,483,4	1,489	0,506,7	1,524	0,530,5	1,559
1,571	0,437,0	1,619	0,458,6	1,649	0,480,7	1,689	0,503,3	1,728

TUYAUX NEUFS.		2 MÈTRES 25 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 30 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 35 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 40
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt.		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	182,35	0,177	190,56	0,181	196,92	0,185	207,48
0,02	0,000,314	58,421	0,707	61,047	0,723	63,730	0,738	66,470
0,027	0,000,573	36,985	1,288	38,647	1,317	40,345	1,346	42,080
0,03	0,000,707	31,669	1,590	33,092	1,626	34,546	1,661	36,032
0,04	0,001,257	21,022	2,827	21,967	2,890	22,932	2,953	23,918
0,05	0,001,964	15,507	4,418	16,204	4,516	16,917	4,614	17,644
0,054	0,002,290	13,992	5,153	14,628	5,268	15,271	5,382	15,928
0,06	0,002,827	12,195	6,362	12,743	6,503	13,303	6,644	13,875
0,07	0,003,848	10,007	8,659	10,457	8,851	10,917	9,044	11,386
0,08	0,005,027	8,464	11,309	8,844	11,561	9,233	11,812	9,630
0,081	0,005,153	8,334	11,595	8,709	11,852	9,092	12,110	9,483
0,09	0,006,362	7,321	14,314	7,650	14,632	7,987	14,950	8,330
0,10	0,007,854	6,444	17,672	6,733	18,064	7,029	18,457	7,331
0,108	0,009,161	5,876	20,612	6,141	21,070	6,410	21,528	6,686
0,11	0,009,503	5,750	21,382	6,008	21,858	6,272	22,333	6,542
0,12	0,011,310	5,169	25,446	5,421	26,012	5,659	26,577	5,902
0,13	0,013,273	4,724	29,865	4,936	30,529	5,153	31,193	5,375
0,135	0,014,314	4,521	32,207	4,725	32,922	4,932	33,638	5,144
0,14	0,015,394	4,335	34,636	4,530	35,406	4,729	36,176	4,932
0,15	0,017,672	4,005	39,761	4,185	40,644	4,368	41,528	4,556
0,16	0,020,106	3,720	45,239	3,887	46,244	4,058	47,249	4,233
0,162	0,020,612	3,668	46,377	3,833	47,408	4,001	48,438	4,173
0,17	0,022,698	3,473	51,071	3,629	52,206	3,789	53,341	3,952
0,18	0,025,447	3,256	57,256	3,403	58,528	3,552	59,800	3,705
0,19	0,028,353	3,065	63,794	3,203	65,212	3,343	66,630	3,487
0,20	0,031,416	2,894	70,686	3,024	72,257	3,157	73,828	3,293
0,21	0,034,636	2,742	77,932	2,865	79,663	2,991	81,395	3,119
0,216	0,036,644	2,657	82,448	2,777	84,280	2,899	86,112	3,024
0,22	0,038,013	2,604	85,530	2,721	87,431	2,841	89,332	2,963
0,23	0,041,548	2,480	93,482	2,591	95,560	2,705	97,637	2,821
0,24	0,045,239	2,360	101,788	2,473	104,050	2,581	106,312	2,692
0,25	0,049,088	2,263	110,447	2,365	112,901	2,469	115,355	2,575
0,26	0,053,093	2,168	119,460	2,266	122,114	2,365	124,769	2,467
0,27	0,057,256	2,081	128,826	2,175	131,688	2,270	134,551	2,368
0,28	0,061,575	2,000	138,545	2,090	141,623	2,182	144,702	2,276
0,29	0,066,052	1,926	148,618	2,013	151,920	2,101	155,223	2,191
0,30	0,070,686	1,857	159,043	1,940	162,578	2,025	166,112	2,113
0,31	0,075,477	1,792	169,823	1,873	173,597	1,955	177,371	2,039
0,32	0,080,425	1,732	180,956	1,810	184,977	1,890	188,998	1,971
0,325	0,082,958	1,704	186,655	1,780	190,803	1,858	194,951	1,938
0,33	0,085,530	1,676	192,443	1,751	196,719	1,828	200,996	1,907
0,34	0,090,792	1,623	204,283	1,696	208,822	1,771	213,362	1,847
0,35	0,096,212	1,574	216,476	1,644	221,288	1,717	226,097	1,790
0,36	0,101,788	1,527	229,022	1,596	234,112	1,666	239,201	1,737
0,37	0,107,521	1,483	241,923	1,550	247,299	1,618	252,675	1,687
0,38	0,113,412	1,442	255,177	1,506	260,847	1,573	266,518	1,640
0,39	0,119,459	1,402	268,783	1,465	274,756	1,530	280,729	1,596
0,40	0,125,664	1,365	282,744	1,427	289,027	1,489	295,310	1,553
0,41	0,132,026	1,330	297,058	1,390	303,660	1,451	310,261	1,513
0,42	0,138,545	1,297	311,726	1,355	318,654	1,414	325,581	1,475
0,43	0,145,221	1,265	326,747	1,322	334,008	1,380	341,269	1,439
0,44	0,152,053	1,234	342,120	1,290	349,722	1,347	357,325	1,404
0,45	0,159,043	1,206	357,847	1,260	365,799	1,315	373,751	1,372
0,46	0,166,191	1,178	373,930	1,231	382,239	1,285	390,549	1,340
0,47	0,173,495	1,152	390,364	1,203	399,039	1,256	407,714	1,310
0,48	0,180,956	1,126	407,151	1,177	416,199	1,229	425,247	1,282
0,49	0,188,575	1,102	424,294	1,152	433,723	1,202	443,152	1,254
0,50	0,196,350	1,079	441,788	1,128	451,605	1,177	461,423	1,228
0,55	0,237,583	0,976,7	534,562	1,021	546,441	1,065	558,320	1,111
0,60	0,282,744	0,892,0	636,174	0,932,0	650,311	0,973,0	664,448	1,015
0,65	0,331,832	0,820,8	746,622	0,857,7	763,214	0,895,3	779,806	0,933,9
0,70	0,384,846	0,760,1	865,903	0,794,2	885,146	0,829,2	904,388	0,864,8
0,75	0,441,788	0,707,7	994,023	0,739,5	1,016	0,772,1	1,038	0,805,3
0,80	0,502,656	0,662,2	1,131	0,691,9	1,156	0,722,3	1,181	0,753,4
0,85	0,567,451	0,622,1	1,277	0,650,0	1,305	0,678,6	1,334	0,707,8
0,90	0,636,174	0,586,6	1,431	0,612,9	1,463	0,639,9	1,495	0,667,4
0,95	0,708,823	0,554,9	1,595	0,579,8	1,630	0,605,3	1,666	0,631,3
1,00	0,785,400	0,526,4	1,767	0,550,1	1,806	0,574,3	1,840	0,599,0

VITESSES.

CENTIMÈTRES.	2 MÈTRES 45 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 50 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 55 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 60 CENTIMÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.
0,188	216,21	0,192	225,12	0,196	234,22	0,200	243,50	0,204
0,754	69,209	0,770	72,125	0,785	75,039	0,801	78,010	0,817
1,374	43,852	1,403	45,660	1,431	47,505	1,460	49,386	1,489
1,697	37,549	1,733	39,097	1,768	40,677	1,804	42,287	1,838
3,010	24,925	3,079	25,953	3,142	27,002	3,204	28,071	3,267
4,712	18,387	4,811	19,145	4,909	19,918	5,007	20,707	5,105
5,497	16,599	5,611	17,283	5,726	17,981	5,840	18,693	5,955
6,786	14,459	6,927	15,056	7,069	15,664	7,210	16,284	7,351
9,236	11,865	9,429	12,355	9,621	12,854	9,814	13,363	10,006
12,064	10,035	12,315	10,449	12,566	10,871	12,817	11,302	13,069
12,367	9,882	12,625	10,289	12,883	10,705	13,141	11,129	13,398
15,268	8,681	15,586	9,039	15,904	9,404	16,222	9,776	16,541
18,850	7,640	19,243	7,955	19,635	8,276	20,028	8,604	20,420
21,980	6,968	22,444	7,255	22,902	7,548	23,360	7,847	23,818
22,808	6,817	23,263	7,098	23,755	7,385	24,233	7,677	24,709
27,143	6,101	27,708	6,405	28,274	6,663	28,839	6,927	29,405
31,856	5,601	32,520	5,832	33,183	6,068	33,847	6,308	34,511
34,353	5,361	35,069	5,582	35,785	5,808	36,501	6,037	37,216
36,945	5,140	37,715	5,352	38,485	5,568	39,255	5,789	40,024
42,412	4,748	43,296	4,944	44,179	5,144	45,063	5,347	45,946
48,255	4,411	49,260	4,592	50,260	4,778	51,271	4,968	52,276
49,469	4,319	50,500	4,528	51,530	4,711	52,561	4,898	53,591
54,475	4,118	55,610	4,288	56,745	4,461	57,880	4,638	59,015
61,073	3,861	62,345	4,020	63,617	4,183	64,889	4,348	66,162
68,047	3,634	69,465	3,784	70,882	3,937	72,300	4,092	73,718
75,398	3,432	76,969	3,573	78,540	3,718	80,111	3,865	81,682
83,127	3,251	84,859	3,385	86,590	3,521	88,322	3,661	90,054
87,945	3,151	89,777	3,281	91,609	3,413	93,441	3,548	95,273
91,232	3,088	93,133	3,215	95,033	3,345	96,934	3,477	98,835
99,714	2,940	101,791	3,061	103,869	3,185	105,946	3,311	108,024
108,574	2,806	110,836	2,922	113,098	3,040	115,360	3,160	117,621
117,810	2,683	120,264	2,794	122,719	2,907	125,173	3,022	127,628
127,423	2,571	130,078	2,677	132,733	2,785	135,388	2,895	138,042
137,414	2,467	140,277	2,569	143,139	2,673	146,002	2,779	148,865
147,781	2,372	150,860	2,470	153,938	2,570	157,017	2,671	160,096
158,525	2,284	161,828	2,378	165,130	2,474	168,433	2,572	171,736
169,646	2,201	173,180	2,292	176,715	2,385	180,249	2,479	183,784
181,145	2,125	184,919	2,213	188,692	2,302	192,466	2,393	196,240
193,026	2,054	197,041	2,138	201,062	2,225	205,083	2,313	209,105
199,099	2,020	203,247	2,103	207,395	2,188	211,543	2,275	215,691
205,272	1,987	209,549	2,069	213,825	2,153	218,102	2,238	222,378
217,901	1,925	222,441	2,004	226,981	2,085	231,521	2,167	236,060
230,908	1,866	235,719	1,943	240,529	2,021	245,340	2,101	250,150
244,291	1,811	249,380	1,885	254,470	1,961	259,559	2,039	264,648
258,051	1,759	263,427	1,831	268,803	1,905	274,179	1,980	279,555
272,188	1,709	277,859	1,780	283,529	1,852	289,200	1,925	294,870
286,702	1,663	292,675	1,731	298,648	1,801	304,621	1,873	310,594
301,594	1,619	307,877	1,686	314,160	1,754	320,443	1,823	326,726
316,862	1,577	323,463	1,642	330,066	1,708	336,666	1,770	343,268
332,508	1,537	339,435	1,601	346,363	1,665	353,290	1,731	360,217
348,530	1,500	355,791	1,561	363,053	1,624	370,314	1,689	377,575
364,927	1,464	372,530	1,524	380,133	1,586	387,736	1,648	395,338
381,703	1,429	389,655	1,488	397,608	1,548	405,560	1,610	413,512
398,858	1,397	407,168	1,454	415,478	1,513	423,788	1,573	432,097
416,388	1,365	425,063	1,422	433,738	1,479	442,413	1,538	451,087
434,294	1,336	443,342	1,391	452,390	1,447	461,438	1,504	470,486
452,580	1,307	462,009	1,361	471,438	1,416	480,867	1,472	490,295
471,240	1,279	481,058	1,332	490,875	1,386	500,093	1,441	510,510
570,199	1,158	582,078	1,206	593,958	1,255	605,837	1,304	617,716
678,586	1,058	692,723	1,101	706,860	1,146	720,997	1,191	735,134
796,397	0,973,2	812,989	1,013	829,580	1,054	846,172	1,096	862,763
923,630	0,901,2	942,872	0,938,4	962,115	0,976,3	981,357	1,015	1,001
1,060	0,839,2	1,082	0,873,8	1,104	0,909,1	1,127	0,945,1	1,149
1,206	0,785,1	1,232	0,817,5	1,257	0,850,5	1,282	0,884,2	1,307
1,362	0,737,0	1,390	0,768,6	1,419	0,799,0	1,447	0,830,6	1,475
1,527	0,695,5	1,559	0,724,1	1,590	0,753,4	1,622	0,783,2	1,654
1,701	0,657,9	1,737	0,685,0	1,772	0,712,7	1,807	0,740,9	1,843
1,885	0,624,2	1,924	0,649,9	1,964	0,676,2	2,003	0,703,0	2,042

TUYAUX NEUFS.		2 MÈTRES 65 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 70 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 75 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 80
DIAMÈTRES.	SECTIONS.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.
mèt		mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.	lit.	mèt.
0,01	0,000,079	252,95	0,208	262,59	0 212	272,40	0,216	282,40
0,02	0,000,314	81,040	0,833	84,127	0,848	87,271	0,864	90,474
0,027	0,000,573	51,304	1,517	53,258	1,546	55,249	1,575	57,276
0,03	0,000,707	43,929	1,873	45,603	1,909	47,307	1,944	49,043
0,04	0,001,257	29,161	3,330	30,272	3,393	31,403	3,456	32,556
0,05	0,001,964	21,511	5,203	22,331	5,301	23,165	5,400	24,015
0,054	0,002,290	19,419	6,069	20,159	6,184	20,913	6,298	21,680
0,06	0,002,827	16,917	7,493	17,561	7,634	18,217	7,775	18,886
0,07	0,003,848	13,882	10,198	14,410	10,391	14,949	10,583	15,498
0,08	0,005,027	11,741	13,320	12,188	13,572	12,643	13,823	13,107
0,081	0,005,153	11,561	13,656	12,001	13,913	12,450	14,171	12,907
0,09	0,006,362	10,156	16,859	10,543	17,177	10,937	17,495	11,338
0,10	0,007,854	8,939	20,813	9,279	21,206	9,626	21,599	9,979
0,108	0,009,161	8,152	24,276	8,462	24,734	8,778	25,192	9,101
0,11	0,009,503	7,976	25,184	8,279	25,650	8,589	26,134	8,904
0,12	0,011,310	7,196	29,970	7,470	30,536	7,749	31,101	8,034
0,13	0,013,273	6,553	35,175	6,803	35,838	7,057	36,502	7,316
0,135	0,014,314	6,272	37,932	6,511	38,648	6,754	39,364	7,002
0,14	0,015,394	6,014	40,794	6,243	41,563	0,476	42,333	6,714
0,15	0,017,672	5,555	46,830	5,767	47,713	5,982	48,597	6,202
0,16	0,020,106	5,161	53,281	5,357	54,287	5,557	55,292	5,761
0,162	0,020,612	5,088	54,622	5,282	55,652	5,479	56,683	5,680
0,17	0,022,698	4,818	60,150	5,001	61,285	5,188	62,420	5,378
0,18	0,025,447	4,517	67,434	4,689	68,707	4,864	69,979	5,043
0,19	0,028,353	4,251	75,136	4,413	76,553	4,578	77,971	4,746
0,20	0,031,416	4,015	83,253	4,168	84,823	4,324	86,394	4,482
0,21	0,034,636	3,803	91,786	3,948	93,518	4,095	95,250	4,246
0,216	0,036,644	3,686	97,105	3,827	98,938	3,970	100,770	4,115
0,22	0,038,013	3,612	100,736	3,750	102,636	3,890	104,537	4,033
0,23	0,041,548	3,440	110,101	3,571	112,179	3,704	114,256	3,840
0,24	0,045,239	3,283	119,883	3,408	122,145	3,535	124,407	3,665
0,25	0,049,088	3,139	130,082	3,259	132,536	3,381	134,990	3,505
0,26	0,053,093	3,008	140,697	3,122	143,351	3,239	146,006	3,358
0,27	0,057,256	2,887	151,728	2,997	154,590	3,109	157,453	3,223
0,28	0,061,575	2,775	163,175	2,881	166,254	2,988	169,333	3,098
0,29	0,066,052	2,672	175,039	2,773	178,341	2,877	181,644	2,983
0,30	0,070,686	2,570	187,318	2,674	190,852	2,774	194,386	2,875
0,31	0,075,477	2,486	200,014	2,581	203,788	2,677	207,562	2,776
0,32	0,080,425	2,403	213,126	2,494	217,147	2,588	221,168	2,683
0,325	0,082,958	2,363	219,839	2,453	223,986	2,545	228,134	2,638
0,33	0,085,530	2,325	226,655	2,413	230,931	2,504	235,206	2,595
0,34	0,090,792	2,252	240,600	2,337	245,139	2,425	249,679	2,514
0,35	0,096,212	2,183	254,961	2,266	259,771	2,351	264,582	2,437
0,36	0,101,788	2,118	269,737	2,199	274,827	2,281	279,916	2,365
0,37	0,107,521	2,057	284,931	2,136	290,307	2,216	295,683	2,297
0,38	0,113,412	2,000	300,541	2,070	306,212	2,154	311,883	2,233
0,39	0,119,459	1,945	316,567	2,019	322,540	2,095	328,515	2,172
0,40	0,125,664	1,894	333,009	1,966	339,293	2,039	345,576	2,114
0,41	0,132,026	1,845	349,869	1,915	356,470	1,987	363,071	2,060
0,42	0,138,545	1,799	367,144	1,867	374,072	1,937	380,999	2,008
0,43	0,145,221	1,754	384,836	1,821	392,097	1,889	399,358	1,959
0,44	0,152,053	1,712	402,941	1,778	410,543	1,844	418 146	1,912
0,45	0,159,043	1,672	421,464	1,736	429,416	1,801	437,368	1,867
0,46	0,166,191	1,634	440,407	1,696	448,716	1,760	457,026	1,824
0,47	0,173,495	1,597	459,762	1,656	468,437	1,720	477,112	1,783
0,48	0,180,956	1,562	479,534	1,622	488,581	1,683	497,629	1,744
0,49	0,188,575	1,529	499,724	1,587	509,153	1,647	518,582	1,707
0,50	0,196,350	1,497	520,328	1,554	530,145	1,612	539,963	1,671
0,55	0,237,583	1,356	629,595	1,406	641,474	1,459	053,353	1,513
0,60	0,282,744	1,237	749,271	1,284	763,409	1,332	777,546	1,381
0,65	0,331,832	1,139	879,355	1,182	895,946	1,226	912,538	1,271
0,70	0,384,846	1,054	1,020	1,095	1,030	1,135	1,058	1,177
0,75	0,441,788	0,951,8	1,171	1,010	1,193	1,057	1,215	1,096
0,80	0,502,656	0,918,5	1,332	0,953,5	1,357	0,989,1	1,382	1,025
0,85	0,567,451	0,862,9	1,504	0,895,8	1,532	0,929,2	1,560	0,963,3
0,90	0,636,174	0,813,0	1,686	0,844,6	1,718	0,876,2	1,749	0,908,4
0,95	0,708,823	0,769,7	1,878	0,799,0	1,914	0,828,9	1,949	0,859,3
1,00	0,785,400	0,730,3	2,081	0,758,1	2,121	0,786,4	2,160	0,815,3

VITESSES.

CENTIMÈTRES.	2 MÈTRES 85 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 90 CENTIMÈTRES.		2 MÈTRES 95 CENTIMÈTRES.		3 MÈTRES.	
VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.	CHARGES par 100 mètres.	VOLUMES débités.
lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.	mét.	lit.
0,220	292,57	0,224	302,93	0,228	313,46	0,232	324,18	0,236
0,880	93,734	0,895	97,051	0,911	100,12	0,927	103,80	0,942
1,603	59,310	1,632	61,440	1,660	63,577	1,689	65,751	1,718
1,979	50,811	2,015	52,609	2,050	54,439	2,085	56,300	2,121
3,519	33,729	3,581	34,923	3,644	36,137	3,707	37,373	3,770
5,498	24,881	5,596	25,762	5,694	26,655	5,792	27,569	5,891
6,413	22,461	6,527	23,256	6,642	24,065	6,756	24,888	6,871
7,917	19,566	8,058	20,259	8,200	20,963	8,341	21,680	8,482
10,776	16,056	10,968	16,624	11,161	17,203	11,353	17,791	11,545
14,074	13,580	14,325	14,060	14,577	14,549	14,828	15,047	15,080
14,428	13,372	14,686	13,845	14,944	14,327	15,202	14,817	15,459
17,813	11,747	18,131	12,162	18,449	12,585	16,767	13,016	19,085
21,991	10,338	22,384	10,704	22,777	11,077	23,170	11,455	23,562
25,651	9,428	26,109	9,702	26,567	10,102	27,025	10,447	27,483
26,609	9,225	27,084	9,551	27,560	9,884	28,035	10,221	28,510
31,667	8,323	32,232	8,618	32,798	8,918	33,363	9,222	33,929
37,165	7,579	37,829	7,848	38,492	8,121	39,156	8,398	39,820
40,079	7,254	40,795	7,511	41,520	7,772	42,236	8,038	42,942
43,103	6,936	43,873	7,202	44,642	7,452	45,412	7,707	46,182
49,480	6,325	50,364	6,653	51,247	6,884	52,131	7,119	53,015
56,297	5,969	57,302	6,180	58,308	6,395	59,313	6,614	60,319
57,714	5,885	58,745	6,093	59,775	6,305	60,806	6,521	61,836
63,555	5,572	64,690	5,770	65,824	5,970	66,959	6,174	68,094
71,252	5,225	72,524	5,409	73,796	5,598	75,068	5,789	76,341
79,388	4,917	80,806	5,091	82,223	5,268	83,641	5,448	85,059
87,965	4,643	89,536	4,808	91,106	4,975	92,677	5,145	94,248
96,981	4,399	98,713	4,554	100,445	4,713	102,177	4,874	103,906
102,602	4,264	104,434	4,415	106,267	4,568	108,099	4,724	109,931
106,437	4,175	108,338	4,326	110,239	4,476	112,140	4,629	114,040
116,333	3,978	118,410	4,119	120,488	4,262	122,565	4,408	124,645
126,660	3,797	128,931	3,931	131,193	4,068	133,455	4,207	135,717
137,445	3,631	139,899	3,759	142,354	3,890	144,808	4,023	147,263
148,661	3,479	151,316	3,602	153,970	3,727	156,625	3,855	159,279
160,316	3,330	163,179	3,457	166,042	3,577	166,905	3,700	171,767
172,411	3,210	175,490	3,323	178,569	3,439	181,648	3,556	184,726
184,946	3,090	188,249	3,199	191,551	3,311	194,854	3,424	198,156
197,921	2,972	201,455	3,084	204,989	3,192	208,523	3,301	212,058
211,335	2,876	215,109	2,977	218,883	3,081	222,657	3,186	226,431
225,190	2,779	229,211	2,876	233,232	2,978	237,255	3,079	241,275
232,282	2,733	236,430	2,830	240,578	2,928	244,726	3,029	248,874
239,464	2,659	243,761	2,784	248,037	2,881	252,314	2,979	256,590
253,218	2,604	258,758	2,696	263,297	2,790	267,837	2,886	272,377
269,392	2,525	274,203	2,614	279,013	2,705	283,824	2,798	288,635
285,006	2,450	290,095	2,537	295,185	2,625	300,274	2,715	305,364
301,059	2,380	306,435	2,464	311,812	2,550	317,188	2,637	322,564
317,553	2,313	323,224	2,395	328,894	2,478	334,565	2,563	340,235
334,486	2,250	340,459	2,330	346,432	2,411	352,405	2,493	358,378
351,859	2,190	358,142	2,268	364,426	2,347	370,709	2,427	376,992
369,673	2,134	376,274	2,209	382,875	2,286	389,476	2,364	396,078
387,926	2,080	394,853	2,154	401,781	2,229	408,706	2,305	415,635
406,619	2,029	413,880	2,101	421,141	2,174	428,402	2,248	435,663
425,748	1,980	433,351	2,051	440,954	2,122	448,557	2,194	456,159
445,320	1,934	453,272	2,003	461,225	2,072	469,177	2,143	477,129
465,335	1,890	473,645	1,957	481,954	2,025	490,264	2,094	498,573
485,786	1,848	494,461	1,913	503,136	1,980	511,811	2,047	520,485
506,677	1,807	515,725	1,871	524,772	1,936	533,820	2,002	542,868
528,010	1,768	537,439	1,831	546,868	1,895	556,297	1,959	565,725
549,780	1,731	559,598	1,793	569,415	1,855	579,233	1,918	589,050
665,232	1,567	677,111	1,623	688,901	1,679	700,870	1,736	712,749
791,683	1,431	805,820	1,482	819,958	1,533	834,095	1,586	848,232
929,130	1,317	945,722	1,364	962,313	1,411	978,905	1,459	995,496
1,078	1,220	1,097	1,263	1,116	1,307	1,135	1,351	1,155
1,237	1,136	1,259	1,176	1,281	1,217	1,303	1,258	1,325
1,407	1,062	1,433	1,100	1,458	1,138	1,483	1,177	1,508
1,589	0,998,1	1,617	1,033	1,646	1,069	1,674	1,106	1,702
1,781	0,941,1	1,813	0,974,4	1,845	1,008	1,877	1,043	1,909
1,985	0,890,3	2,020	0,921,8	2,056	0,953,8	2,091	0,986,4	2,126
2,199	0,844,6	2,238	0,674,5	2,278	0,905,0	2,317	0,935,9	2,356

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE I.

UTILITÉ DES EXPÉRIENCES.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Pages

CHAPITRE III.

RÉSULTAT DES EXPÉRIENCES.

CHAPITRE IV.

DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS DES FORMULES.

CHAPITRE V.

VITESSES RELATIVES DES FLUIDES.

CHAPITRE VI.

RÉSUMÉ ET DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE CONTRACTION À L'ENTRÉE DES CONDUITES.

APPENDICE.

NOTE 1.

NOTE 2.

NOTE 3.

NOTE 4.

ERRATA.

Page 105, tableau. *Au lieu de* : et les vitesses expérimentales des formules; *lisez* : des formules et les vitesses expérimentales.

Page 130, ligne 3. *Au lieu de* : $\frac{dv}{dr} - 1$; *lisez* : $\frac{dv}{dr} = 1$.

